

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA SIMULACIÓN DE MANIOBRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en la Especialidad
de Mantenimiento Eléctrico

AUTOR:

Marco Vinicio Narváez Velastegui

DIRECTOR:

MSc. Jhonny Javier Barzola Iza

ASESORES:

MSc. Segundo Hernán Pérez Cruz

MSc. Franklin Ramiro Flores Haro

Ibarra - Ecuador

2019



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1.- IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD	100368156-4
APELLIDOS Y NOMBRES	Narváez Velastegui Marco Vinicio
DIRECCIÓN	Calle Yahuarcocha Pasaje I
EMAIL	marconrvz@gmail.com
TELÉFONO FIJO	2577137
TELÉFONO MÓVIL	0999368960
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA SIMULACIÓN DE MANIOBRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA
AUTOR	Narváez Velastegui Marco Vinicio
FECHA	Octubre 2019
PROGRAMA	Pregrado
TITULO POR EL QUE OPTA	Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
DIRECTOR	MSc. Jhonny Barzola

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son las titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad Técnica del Norte, en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 14 días del mes de noviembre del año 2019

El Autor:



Firma

Nombre: Marco Vinicio Narváez Velastegui

Cédula: 100368156-4



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Narváez Velastegui Marco Vinicio, con cedula de identidad No. 100368156-4, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la ley de propiedad intelectual del Ecuador, articulo 4, 5 y 6 en calidad de autor del trabajo de grado denominado: **"IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA SIMULACIÓN DE MANIOBRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA"**. Que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes mencionada, aclarando que el trabajo aquí descrito es de mi autoría y que no ha sido previamente presentando para ningún grado o calificación profesional. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Firma

Nombre: Marco Vinicio Narváez Velastegui

Cédula: 100368156-4

Ibarra, octubre de 2019.



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

MSc. Jhonny Barzola

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante; Narváez Velastegui Marco Vinicio certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **"IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA SIMULACIÓN DE MANIOBRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA"**. Para la obtención de título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico; aprobando la defensa, impresión y empastado.

.....
MSc. Jhonny Barzola
DIRECTOR DE TESIS

Certificación del director del trabajo

Dedicatoria

A mis padres Hilda y Marco quienes siempre me apoyan en las metas que me he propuesto, gracias por el amor, paciencia y esfuerzo que día a día tienen para sacar a mis hermanas y a mi adelante, el ejemplo de ser personas de bien y de ser los mejores, me ha permitido culminar una meta.

A mi hermana Katty que con su ejemplo, cariño y apoyo incondicional me ha enseñado siempre seguir el camino del bien y con sus consejos mejorar mi personalidad. A mi hermana Estefany por ser la consentida de la casa y a toda mi familia porque siempre me han apoyado en los momentos difíciles.

Finalmente quiero dedicar este trabajo a una persona muy importante en mi vida Karina, que en estos momentos difíciles siempre estuvo junto a mí y gracias por el amor sincero que me brinda cada día.

Marco Narváez

Agradecimiento

Le agradezco a Dios por darme la mejor familia, brindarme la vida y a mi abuelito Reinaldo que desde su partida siempre le llevo en mi memoria y no tengo duda que me acompaño en este largo camino de mi vida profesional.

La Universidad Técnica del Norte por abrirme las puertas y permitirme seguir la carrera profesional que más deseaba, a los docentes por impartirme sus conocimientos para ser uno de los mejores profesionales.

A mi tutor por haberme guiado en la elaboración del trabajo de titulación, por ayudarme con conocimientos y por el tiempo que destinó para culminar el trabajo con éxito.

Marco Narváez

Resumen

El presente trabajo consiste en el diseño y construcción del tablero de simulación de maniobras, así como también en la utilización de secuencias de operación de una subestación de barra simple con transferencia y paso directo de tendencia europea. Esta configuración se diseñó debido a que brinda una variedad de maniobras para elementos de corte y mando de una subestación eléctrica de uso típico en el medio. También se detalla el diseño de un sistema de interfaz gráfico SCADA debido a la necesidad de su monitoreo y control en tiempo real, ya sea con su modo de funcionamiento local o remoto.

Las secuencias de operación de la subestación eléctrica fueron establecidas de acuerdo a las características de los elementos como interruptor, seccionador, seccionador de puesta a tierra y al diagrama unifilar de la subestación. Estas condiciones se implementaron en la programación para tener un sistema ordenado y eficiente.

El tablero de simulación de maniobras tiene dos partes fundamentales: la de control, que se refiere a la utilización del controlador Arduino para ser el cerebro del sistema, y la de supervisión, que permite monitorear y realizar maniobras en los elementos de corte y mando de la subestación.

Entre los elementos de enlace para las etapas de control y accionamiento se encuentran los relés que están conectados con el controlador para enviar una señal de activación de las luces indicadoras del estado actual de los dispositivos. Estas señales pueden ser ejecutadas desde el HMI en su forma remota y desde los selectores en su forma manual.

Luego de analizar algunas alternativas para el sistema SCADA, LabVIEW cumplió las necesidades como el programa para desarrollar el trabajo. Este ofrece una flexible comunicación con el controlador y una interfaz que permita monitorear y controlar la conexión - desconexión de elementos de la subestación, además, visualizar el funcionamiento de algunos elementos en tiempo real y el diseño didáctico de la disposición de equipos en patio de la subestación eléctrica.

Abstract

This present research consists of the design and construction of the maneuver simulation board, as well as the use of operating sequences of a single bar substation with transfer and direct passage of European trend. This configuration was designed because it provides a variety of mandrels for cutting and control elements in an electrical substation of typical use in the medium. Also, the design of a SCADA graphic interface system is detailed due to the need for real-time monitoring and control, either with its local or remote mode of operation.

The operating sequences of the electrical substation were established according to the characteristics of the elements such as switch, disconnector, earthing switch and to the single-line diagram of the substation. These conditions were implemented in the programming to have an orderly and efficient system.

The maneuver simulation board has two fundamental parts: the control one, which refers to the use of the Arduino controller to be the brain of the system, and the supervision one, which allows monitoring and maneuvering of the cutting and control elements of the substation.

Within the link elements for the control and actuation stages are the relays, which are connected to the controller to send an activation signal of the lights indicating the current status of the devices. These signals can be executed from the HMI in its remote form and from the selectors in its manual form.

After analyzing some alternatives for the SCADA system, LabVIEW met the needs as the program to develop the work. This offers flexible communication with the controller and an interface that allows monitoring and controlling the connection - disconnection of substation elements, as well as visualize the operation of some elements in real time and the didactic design of the equipment provision in the electrical substation yard.

Tabla de Contenido

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	ii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	iv
ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR.....	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
Introducción.....	17
A1. Contextualización.....	17
A2. Planteamiento del problema.....	17
Formulación del problema	18
A3. Justificación del trabajo.....	18
A4. Alcance del trabajo	19
A5. Viabilidad del trabajo.....	19
A6. Objetivo general.....	19
A7. Objetivos específicos	20
1 MARCO TEÓRICO.....	21
1.1 Definición subestación eléctrica.....	21
1.2 Objeto de una subestación en un sistema de potencia	21
1.3 Características de operación de las subestaciones	22
1.3.1 Flexibilidad	22
1.3.2 Confiabilidad.....	22
1.3.3 Seguridad	22
1.3.4 Modularidad.....	22
1.4 Clasificación de las subestaciones	22
1.4.1 Por su función.....	22
1.4.2 Por tipo de operación.....	24
1.4.3 Por su forma de construcción	25
1.5 Elementos principales de las subestaciones.....	26

1.6	Simbología	28
1.7	Configuraciones o esquemas	30
1.7.1	Barra simple	30
1.7.2	Barra partida.....	31
1.7.3	Barra simple con by-pass	31
1.7.4	Barra simple con barra de transferencia	32
1.7.5	Anillo o Malla	33
1.8	Diagrama unifilar	34
1.8.1	Disposición de equipos en patio	35
1.9	Maniobras en las subestaciones eléctricas.....	43
1.9.1	Principales maniobras	43
1.9.2	Propiedades de operación de los aparatos de corte	44
1.9.3	Personal de operación.....	44
1.9.4	Seguridad	45
1.9.5	Análisis de maniobras.....	46
1.9.6	Proceso de maniobras.....	47
1.10	Dispositivos empleados para realizar maniobras	49
1.10.1	Conmutadores	50
1.10.2	Pulsadores	50
1.10.3	Luces indicadoras.....	51
1.11	Sistema SCADA	51
1.11.1	Elementos principales de un sistema SCADA.....	53
1.11.2	Funciones del sistema SCADA	55
1.12	Tablero de simulación de maniobras	55
CAPÍTULO II		56
2	DESARROLLO	56
2.1	Introducción	56
2.2	Análisis del objetivo	56
2.3	Ubicación física	56
2.4	Desarrollo del proyecto.....	56
2.4.1	Aspectos técnicos.....	57
2.4.2	Diagrama de flujo	60
2.4.3	Método de criterios ponderados.....	61
2.5	Diseño del tablero de simulación de maniobras.....	63
2.5.1	Construcción del tablero	63

2.5.2	Posición de canaletas.....	63
2.5.3	Posición de los elementos	64
2.6	Montaje del tablero de simulación de maniobras	65
2.6.1	Mantenimiento al tablero	65
2.6.2	Montaje de elementos	66
2.7	Programación en Arduino	72
2.7.1	Interfaz de comunicación Arduino – LabVIEW	72
2.7.2	Selección de entradas y salidas.....	75
2.7.3	Secuencias de operación	77
2.7.4	Condiciones para invertir secuencias	78
2.7.5	Condiciones para desconectar los seccionadores de puesta a tierra.....	80
2.7.6	Condiciones para los interruptores A y B.	83
2.8	SCADA en LabVIEW	84
2.8.1	Diseño de arquitectura del SCADA.....	84
2.8.2	Selección software SCADA	84
2.8.3	Diseño del HMI (Interfaz Hombre - Maquina).....	86
2.8.4	Descripción del sistema desarrollado en el software LabVIEW.....	87
CAPÍTULO III		96
3	RESULTADOS	96
3.1	Prueba 1: Verificación de funcionamiento de las luces indicadoras.	96
3.2	Prueba 2: Comprobación de niveles de voltaje y corriente para la coordinación de protección para el tablero de simulación de maniobras.	98
3.3	Prueba 3: Funcionamiento del tablero de simulación de maniobras con su modo local.	99
3.4	Prueba 4: Funcionamiento del tablero de simulación de maniobras con su modo remoto.....	104
3.5	Prueba 5: Verificación de la activación de alarmas al operar incorrectamente los dispositivos de maniobra de la subestación.....	108
CAPÍTULO IV		110
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
4.1	Conclusiones	110
4.2	Recomendaciones.....	111
Anexo A: Manual de Usuario.....		116
Anexo B: Manual de Mantenimiento.....		118

Anexo C: Manual de Prácticas	120
Anexo D: Medida de tableros según la norma INEN.....	150
Anexo E: Diseño y construcción del módulo didáctico.....	151
Anexo F: Códigos ANSI	162

Índice de Figuras

Figura 1. Sistema de generación y consumo de energía eléctrica.....	21
Figura 2. Tipos de subestaciones.....	23
Figura 3. Subestación de transmisión.....	23
Figura 4. Subestación de transformación elevadora.....	24
Figura 5. Subestación de transformación reductora	24
Figura 6. Configuración Barra Sencilla	30
Figura 7. Configuración Barra partida.....	31
Figura 8. Configuración Barra by-pass	32
Figura 9. Configuración Barra simple con barra de transferencia	32
Figura 10. Conexión de anillo - Configuración Barra de anillo	33
Figura 11. Diagrama unifilar de una subestación eléctrica.....	34
Figura 12. Parte de transformación (vista en planta)	35
Figura 13. Parte de transformación (vista en corte 1-1).....	35
Figura 14. Parte de transformación (vista en corte 2-2).....	36
Figura 15. Parte de transformación (vista en corte 3-3).....	36
Figura 16. Barra seccionada y transferencia (vista en planta)	37
Figura 17. Barra seccionada y transferencia (vista en corte 1-1).....	37
Figura 18. Barra seccionada y transferencia (vista en corte 2-2).....	38
Figura 19. Barra de transferencia (vista en planta).....	38
Figura 20. Barra de transferencia (vista en corte 1-1).....	39
Figura 21. Barra de transferencia (vista en corte 2-2).....	39
Figura 22. Subestación completa (vista en planta)	40
Figura 23. Subestación completa (vista en corte 1-1).....	41
Figura 24. Subestación completa (vista en corte 2-2).....	42
Figura 25. Barraje sencillo con puesta a tierra.....	49
Figura 26. Esquema conmutador	50
Figura 27. Símbolo pulsador	51
Figura 28. Luces indicadoras	51
Figura 29. Estación Maestra / Computadoras HMI:	53

Figura 30. Múltiples Unidades de Terminal Remota	54
Figura 31. Componentes del sistema SCADA.....	54
Figura 32. Diagrama de flujo del funcionamiento del TSM.....	60
Figura 33. Construcción del tablero.....	63
Figura 34. Medidas canaletas	64
Figura 35. Diseño montaje de elementos	64
Figura 36. Esquema frontal del tablero.....	65
Figura 37. Mantenimiento del tablero	66
Figura 38. Accionamientos de relés para la activación de luces indicadoras.....	67
Figura 39. Perforación para los elementos de control.....	67
Figura 40. Perforación para canaletas.....	68
Figura 41. Posición de las canaletas	68
Figura 42. Colocación del tubo flexible espiral.....	69
Figura 43. Montaje de elementos	70
Figura 44. Colocación de cableado dentro de las canaletas.....	70
Figura 45. Conexión de pines de entradas y salidas del Arduino Mega.....	71
Figura 46. Vista interna de la instalación del TSM	72
Figura 47. Programa VI Package Manager	73
Figura 48. Configuraciones en VI Package Manager.....	73
Figura 49. Instalación LabVIEW Interfaz para Arduino	74
Figura 50. Comunicación Serial Arduino – LabVIEW.....	74
Figura 51. Comunicación serial en Arduino	75
Figura 52. Pines de entradas y salidas.....	76
Figura 53. Matriz de secuencias de operación y condiciones iniciales.....	78
Figura 54. Ciclo FOR en la programación Arduino	79
Figura 55. Sentencias para la ejecución de maniobras	80
Figura 56. Condiciones para maniobrar el seccionador de puesta a tierra	82
Figura 57. Ciclo FOR y sentencia if para desactivación total de la subestación.....	83
Figura 58. Arquitectura SCADA.....	84
Figura 59. Activación del puerto serial.....	87
Figura 60. Adquisición de datos	87
Figura 61. Array cluster para la visualización de controles	88
Figura 62. Visualización de cables	88
Figura 63. Cierre de puerto serial	89
Figura 64. Panel frontal	89
Figura 65. Pestaña de información.....	90

Figura 66. Pestaña de comunicación	91
Figura 67. Apertura y cierre de elementos de la subestación	92
Figura 68. Pestaña de la distancia a punto caliente.....	93
Figura 69. Parte de transformación	94
Figura 70. Barra seccionada y alimentadores.....	94
Figura 71. Barra de transferencia	95
Figura 72. Conexiones selector y luces indicadoras	96
Figura 73. Selector con resistencia pull – up	97
Figura 74. Luces indicadoras en estado apagado	97
Figura 75. Medición de voltaje AC en el tablero de control	98
Figura 76. Medición de la intensidad de corriente eléctrica en el tablero de control....	99
Figura 77. Conexión del alimentador 1 y 2 con su modo local.....	101
Figura 78. Maniobra del seccionador By-pass desde el modo local.	102
Figura 79. Conexión de la barra de transferencia mediante el modo local.....	103
Figura 80. Funcionamiento remoto del módulo didáctico.....	105
Figura 81. Maniobra del interruptor By-pass desde el modo remoto.....	106
Figura 82. Conexión de la barra de transferencia mediante el modo remoto.	107
Figura 83. Cuadro de alarma en el HMI.....	108
Figura 84. Alarma licuadora para el modo local y remoto	109
Figura 85. Elaboración y limpieza de agujeros	151
Figura 86. Ubicación de todos los elementos en la parte frontal.....	151
Figura 87. Conexión común neutro	152
Figura 88. Colocación de cables en selectores y luces indicadoras	152
Figura 89. Herramientas para colocar terminales tubulares en conductores	153
Figura 90. Medición del cableado hacia los elementos de control y protección	153
Figura 91. Conexión de las luces indicadoras en las salidas de los módulos de relés	154
Figura 92. Perforación de la lámina acrílica.....	154
Figura 93. Colocación de manguera espiral de 1/2” en los conductores.....	155
Figura 94. Colocación de soportes para la sujeción del cableado	155
Figura 95. Colocación de manguera 3/4“.....	156
Figura 96. Soldadura de pines para entradas, salidas, voltajes DC en la placa de control	156
Figura 97. Colocación de las tapas de cada canaleta.....	157
Figura 98. Elementos de control y protección.....	157
Figura 99. Tablero de simulación de maniobras modo apagado.....	158

Figura 100. Alimentación del tablero de simulación de maniobras.	158
Figura 101. Monitoreo de la subestación.....	159
Figura 102. HMI del sistema SCADA	159
Figura 103. Simulación de la subestación en patio.....	160
Figura 104. Mesa para ordenador y modulo didáctico.....	160
Figura 105. Mouse y teclado inalámbricos.	161
Figura 106. CPU con adaptador inalámbrico y adaptador bluetooth USB.....	161

Índice de Tablas

Tabla 1. Simbología Equipos Eléctricos	29
Tabla 2. Valore de magnitudes eléctricas de elementos del tablero de control.....	57
Tabla 3. Alternativas de controladores	61
Tabla 4. Asignación de pesos a los criterios.....	61
Tabla 5. Evaluación del peso específico del criterio funcionalidad.....	62
Tabla 6. Evaluación del peso específico del criterio accesibilidad	62
Tabla 7. Evaluación del peso específico del criterio precio	62
Tabla 8. Evaluación de prioridad	62
Tabla 9. Características luces indicadoras	71
Tabla 10. Entrada Selectores	75
Tabla 11. Salidas Relés (Luces).....	76
Tabla 12. Alimentador 1 (Principal)	77
Tabla 13. Alimentador 1 (Transferencia)	77
Tabla 14. Alimentador 2 (Principal)	77
Tabla 15. Alimentador 2 (Transferencia)	77
Tabla 16. Condiciones desconexión puesta a tierra Alimentador 2.....	81
Tabla 17. Condiciones iniciales del contador.....	81
Tabla 18. Contador de saltos para seccionador de puesta tierra	82
Tabla 19. Condiciones interruptor A y B	83
Tabla 20. Comparación de Softwares SCADA	85

Introducción

A1. Contextualización

El suministro de energía eléctrica es realizado por el sistema eléctrico de potencia según la demanda en una zona geográfica determinada. Como lo menciona Viqueira (2010) las subestaciones representan uno de los principales componentes en un sistema de transmisión eléctrica .

Una subestación eléctrica representa un nodo dentro de un sistema eléctrico de potencia, en el que el nivel de voltaje del primario es transformado a niveles de voltaje apropiados para su transporte, distribución y consumo final (Viteri, Garzón, & Narváez, 2017).

La automatización de procesos se ha vuelto una parte importante dentro de la supervisión, control y adquisición de datos. Este sistema así planteado se denomina SCADA, la cual permite la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interfase gráfica que comunica al usuario con el sistema (Penin, 2007).

Existen varios estudios dedicados al monitoreo de parámetros eléctricos en tiempo real mediante sistemas SCADA, entre estos podemos mencionar el trabajo realizado por (Toapanta & Tocagón, 2017) en el que monitorean un generador eléctrico de emergencia, se usa visión artificial mediante LABVIEW para obtener los parámetros del controlador TJ509 y un sistema MyRIO para el envío inalámbrico de los datos a un dispositivo Android.

También podemos citar la investigación propuesta por Revelo (2017) quien monitorea una red de distribución eléctrica a media y baja tensión, el sistema SCADA se encuentra implementado en MOVICON (Monitoreo Visión y Control), permitiendo la conexión y desconexión de red y la corrección del factor de potencia, además de permitir el cambio entre control local y remoto.

A2. Planteamiento del problema

El control de conexión – desconexión en una subestación eléctrica debe tener un adecuado procedimiento denominado maniobra, como lo define Messa et al. (2008) las maniobras son procesos basados en normas que establecen una forma segura y confiable

para realizar una determinada maniobra, evitando que, errores humanos sean ejecutados y afecten a las instalaciones eléctricas.

Los equipos de maniobra tienen un alto costo de adquisición, debido a esto, no están disponibles en los laboratorios universitarios. Además, el limitado acceso a los equipos de las subestaciones presentes en la ciudad no permite al estudiante una comprobación completa del funcionamiento ni de su debido control, quedando la mayor parte del conocimiento de manera teórica.

Las maniobras de las subestaciones conllevan a una alta probabilidad de errores de operación, un mal procedimiento de conexión - desconexión puede conducir a cortes energéticos o incidentes de gravedad, e incluso pérdidas económicas, lo que exige tener recurso humano con experiencia, conocimiento y entrenamiento suficiente para la ejecución de las tareas necesarias.

Formulación del problema

¿Cómo proveer al Laboratorio de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de un módulo didáctico para la simulación de maniobras de una subestación eléctrica de barra simple con transferencia?

A3. Justificación del trabajo

En la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte no existen equipos para prácticas de subestaciones eléctricas.

La importancia del presente proyecto radica en proveer a la Universidad Técnica el Norte de un módulo didáctico para la simulación de maniobras de una subestación eléctrica de barra simple con transferencia, brindando la seguridad adecuada al estudiante.

Se desarrollará una herramienta didáctica basada en tecnologías de última generación que facilite el aprendizaje de los estudiantes complementando el conocimiento teórico adquiridos en las aulas, lo cual ayudará a mejorar el desempeño de nuestros egresados ayudando a mejorar sus competencias intelectuales.

A4. Alcance del trabajo

El proyecto se lo llevará a cabo en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte ubicado en la ciudad de Ibarra capital de la provincia de Imbabura, sector El Olivo.

El trabajo de grado consistirá en implementar un módulo didáctico de simulación de maniobras de una subestación eléctrica. El sistema estará limitado a las maniobras de conexión – desconexión de una barra simple con transferencia. Las maniobras se realizarán a bajo voltaje.

Se contará con controladores para realizar las maniobras de forma local o remota mediante un sistema SCADA. Además de sistemas de alarma activados por una mala operación en las secuencias realizadas.

A5. Viabilidad del trabajo

El proyecto a desarrollarse es de gran interés tanto para el docente como para el estudiante universitario. La portabilidad y flexibilidad del sistema permite la comunicación con el módulo de subestación de bajo voltaje en tiempo real para un completo monitoreo y control del sistema, lo que permitirá satisfacer la necesidad de los estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte de ejecutar maniobras simuladas en una subestación eléctrica.

Desde el punto de vista económico el sistema es viable debido a que se trata de un módulo de simulación, además la Universidad dispone de la licencia del software a utilizarse. El sistema de simulación brindará la adecuada seguridad a los operarios.

A6. Objetivo general

Implementar un módulo didáctico para la simulación de maniobras de una subestación eléctrica mediante un sistema SCADA.

A7. Objetivos específicos

- Realizar la investigación bibliográfica sobre las maniobras en los equipos de corte y mando de la subestación de barra simple con transferencia.
- Construir el módulo de simulación de maniobras de una subestación eléctrica.
- Implementar una interfaz SCADA.
- Realizar un manual de prácticas para la fácil comprensión del funcionamiento del módulo didáctico.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Definición subestación eléctrica

Se define como subestación eléctrica a la instalación que tiene la función de establecer los niveles de tensión adecuados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica (Ramírez Castaño, 2013) las subestaciones conforman el sistema eléctrico y reciben la energía desde la central generadora su función es modificar los parámetros de la energía para hacer posible su transmisión y distribución.

1.2 Objeto de una subestación en un sistema de potencia

Debido a que el voltaje de generación en una central eléctrica es relativamente bajo y su ubicación bastante lejana de los centros de consumo, el transporte de energía eléctrica a estos niveles resulta demasiado costoso.

La instalación de las subestaciones se justifica porque una vez realizada la conducción por las líneas de transmisión a niveles de 500 kV, 230kV, 138 kV, 69kV (Ald, 2017), en los centros de consumo debe procederse a la distribución de esta potencia requiriéndose de subestaciones distribuidoras, que reducen el voltaje a 13.8 kV. (Tapia, 2013).

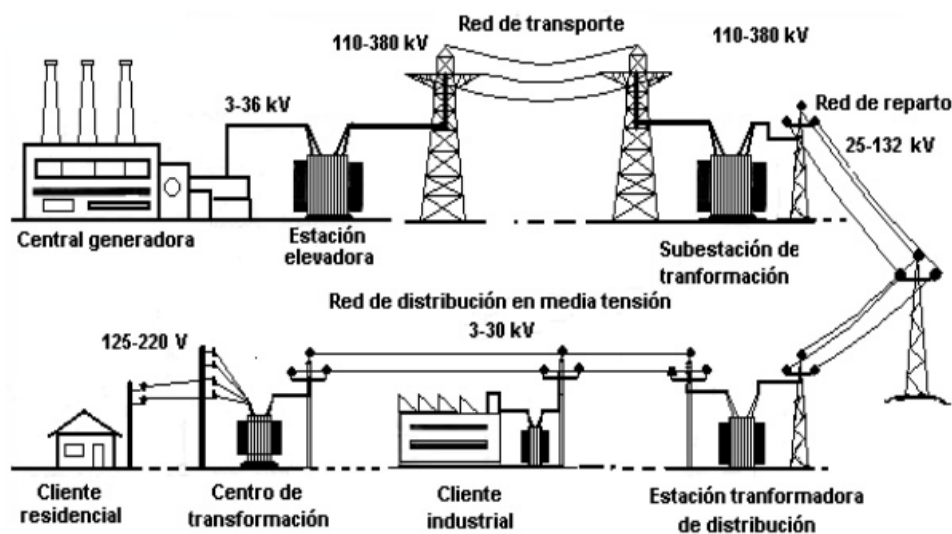


Figura 1. Sistema de generación y consumo de energía eléctrica

Fuente: (Osorio Patiño & Culma Ramírez, 2017)

1.3 Características de operación de las subestaciones

Botero (2013) menciona que las características engloban aspectos que se traduce en requisitos que las subestaciones “deben contener de acuerdo al servicio prestado, estas características son: flexibilidad, confiabilidad, seguridad, y modularidad, determinan la forma de una subestación”.

1.3.1 Flexibilidad

La flexibilidad se define como la propiedad de la instalación para acomodarse a las diferentes condiciones (mantenimiento, por cambios o fallas) que se puedan presentar en el sistema. (Botero G., 2013) .

1.3.2 Confiabilidad

Un sistema es confiable si se toma en cuenta la selección de niveles adecuados de voltaje de suministro, duplicar la trayectoria de alimentación mediante la fuente principal, un sistema de protección adecuado, flexibilidad para la implementación de control y monitores con una selección apropiada de equipos. (Enríquez, 2014).

1.3.3 Seguridad

La subestación debe poseer condiciones adecuadas para minimizar riesgos que afecte a las instalaciones, evitando suspensiones o riesgos de seguridad al personal que opera la subestación. (XM S. A. E. S. P., 2017).

1.3.4 Modularidad

Característica que conste en la facilidad que tiene una subestación para cambiar de configuración según lo requieran las necesidades o el sistema, que se proporciona porque se encuentran instaladas por secciones. (Contreras, 2017).

1.4 Clasificación de las subestaciones

1.4.1 Por su función

Subestación de Generación:

Se trata de una estación primaria de energía que se produce en las plantas generadoras, su objetivo esencial es transformar el voltaje a niveles altos para lograr la economía con la reducción de la corriente. (Enríquez, 2014).



Figura 2. Tipos de subestaciones

Fuente: (Enríquez, 2014)

Subestación de transmisión:

Su función es interconectar las diferentes líneas de transmisión de 500 kV, 230 kV, 138 kV, 69 kV. Estas generalmente alimentan también barrajes de 34.5 kV y/o 69 kV (Botero G., 2013); el objetivo principal de estas subestaciones es la de suministrar energía a un sistema secundario o con un nivel de tensión diferente. Según Caldas (2016) a estas instalaciones se les conoce también subestación elevadora cuando la tensión de salida es más alta que la tensión de entrada.



Figura 3. Subestación de transmisión

Fuente: (Pérez & Soto, 2014)

Subestación de subtransmisión:

Tienen la función de alimentar o interconectar líneas de nivel intermedio de tensión, 69 kV o 46 kV, para transporte a distancias moderadas y de cargas no muy altas, con cargas distribuidas a lo largo de la línea (Enríquez, 2014), los circuitos de este tipo de subestaciones distribuyen energía a subestaciones de distribución o consumidores mayores, la distribución realizada es de tipo primaria o secundaria.

Subestación de distribución:

La función de reducción de la tensión a niveles de distribución 34.50 kV, 22.86 kV, 22.00 kV, 13.80 kV, 13.20 kV, 6.30 kV, 4.16 kV, con la finalidad de distribuir a los centros de consumo industrial o residencial, donde los transformadores de distribución instalados a lo largo de los circuitos, se encargan de reducir los niveles a bajo voltaje (440, 220, 240, 127, 120 V), para alimentar a los usuarios. (Enríquez, 2014).

1.4.2 Por tipo de operación

a. Subestación de transformación:

Caldas (2016) señala que este tipo de subestaciones tienen la función de transformar el voltaje dentro del sistema de potencia, a valores adecuados para su transporte o utilización; Ramírez, (2014) señala que este tipo de subestaciones necesita cumplir requerimientos de confiabilidad y seguridad para atender las necesidades del sistema secundario y de la disponibilidad de transformación.

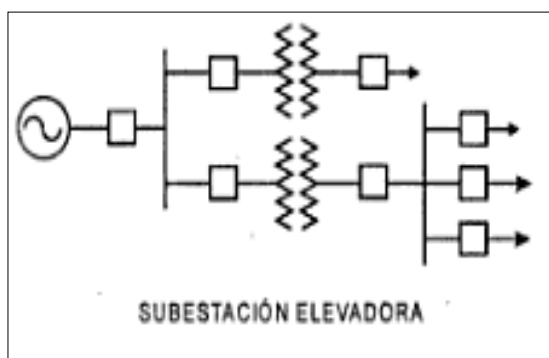


Figura 4. Subestación de transformación elevadora

Fuente: (Caldas, 2016)



Figura 5. Subestación de transformación reductora

Fuente: (Caldas, 2016)

b. Subestación de maniobra:

Su función es unir algunas líneas de transporte con otras de distribución, con el propósito de dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio; el nivel de voltaje es uno solo, por lo tanto, no se utilizan transformadores de potencia que eleven o reduzcan el voltaje; estas subestaciones sirven para interconectar sistemas eléctricos o dentro de un sistema es la que distribuye la energía a las subestaciones de transformación. (Gómez & Vargas, 2016).

1.4.3 Por su forma de construcción

Por su montaje

a. Subestaciones Interiores:

Los equipos de maniobra, protección, transformación, medida y demás elementos de la subestación se instalan bajo cubierta al interior de edificios apropiados para la transmisión de la energía eléctrica; en este tipo de subestaciones se conocen a las que se instalan de forma en capsulada, la estructura de estas subestaciones está compuesta por equipos de seccionamiento primario, transformador de potencia y equipos de medida y protección de bajo voltaje se encuentran alojados en cabinas o celdas metálicas. (Contreras, 2017).

b. Subestaciones Exteriores o a la Intemperie:

Los equipos y elementos que conforman el sistema de las subestaciones se encuentran instalados al aire libre y se encuentran bajo condiciones ambientales convencionales, el montaje se realiza con equipos especiales sobre estructuras que operen bajo los factores ambientales, de tal manera que condiciones climáticas especialmente no afecten al funcionamiento de la subestación. (Enríquez, 2014).

Por su tipo de equipo

a. Subestación Convencional:

En este tipo de subestaciones sus componentes se encuentran conectados entre sí mediante conexiones realizadas en el sitio, además este tipo de subestaciones pueden

estar instaladas en cielo abierto o en el interior, por lo cual los elementos constitutivos de la subestación convencional están integrados por equipos para la operación en el exterior, en cielo abierto, el sistema convencional de las subestaciones tiene la finalidad de adecuar distintos niveles de voltaje y corriente. (Carrión Gordillo, 2018).

b. Subestación Encapsulada:

Es una subestación cuyas partes vivas y equipos que soportan tensión están contenidos dentro de envoltentes metálicos, como es el caso de las subestaciones encapsuladas en SF6. (Enríquez, 2014).

c. Subestación Móvil:

Este tipo de subestación es considerada una solución adecuada para el servicio en el que es necesario cambiar su ubicación física, es decir que tiene un funcionamiento periódico según el requerimiento, es ideal para faenas mineras. Se caracteriza porque todo el conjunto de equipos se encuentra instalado sobre un remolque. Su objetivo básico es el de ser utilizado bajo circunstancias de emergencia, en cualquier punto del sistema. (Enríquez, 2014).

1.5 Elementos principales de las subestaciones

Los elementos principales de una subestación se clasifican en las siguientes categorías:

- Equipo de patio
- Equipo de tablero
- Servicios auxiliares

Equipo de patio:

Castañeda (2014) enfatiza que para “decidir qué equipos son los más apropiados para escoger es necesario tener en cuenta sus principales características físicas y eléctricas, y definir los criterios de selección de acuerdo a las necesidades y requerimientos del sistema donde serán utilizados”.

Según Botero, (2013) la infraestructura de un equipo de patio se conforma con los siguientes elementos: transformadores, seccionadores e interruptores.

- **Transformadores**

Son los equipos que funcionan con energía eléctrica cuya función es aumentar o disminuir la tensión existente en un circuito eléctrico de corriente alterna, los transformadores del equipo de patio son: Transformador de Corriente (T.C) Transformador de Potencial (T.P) Transformador de Potencia. (Coronado, 2008).

- **Seccionador**

Este es un equipo eléctrico que tiene poder de corte de la intensidad nominal pero no tiene capacidad de abrir con corrientes de cortocircuito razón por la cual debe coordinar con un elemento de corte aguas arriba, (Alvarado, 2016). La principal función es el seccionamiento de circuitos, pero para la protección y confiabilidad del sistema es importante contar con pararrayos (P), trampa de onda (T.O), barrajes y estructuras.(Catañeda, 2014).

- **Interruptores**

Son aparatos mecánicos que permiten la conexión eléctrica, este elemento es capaz de establecer, soportar e interrumpir la corriente en condiciones normales del circuito, y en circunstancias específicas de sobrecarga de servicio, al igual que durante un tiempo determinado (generalmente fracciones de segundo) intensidades anormales del circuito (cortocircuitos), (Gil, 2011), la instalación de los interruptores deben garantizar la fiabilidad de su funcionamiento tanto mecánico como eléctrico para que la tarea de este aparato sea ejecutada sin ocasionar perturbaciones secundarias.

El espacio ocupado por el conjunto de equipos pertenecientes a una misma salida de la subestación se denomina "Campo" o "Bahía", por ejemplo, Campo de Línea, Bahía de Transformador, etc. (Botero G., 2013).

Equipos de tablero:

Los equipos de tablero se conforman con los elementos utilizados para el control, medición y protección, así como los indicadores luminosos y alarmas, instalados en la casa de control y soportados por los tableros de la subestación, el conjunto de estos elementos tiene la función de facilitar la supervisión y manejo de la subestación, por parte del operador. (Martín, 2014).





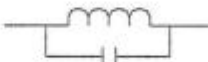


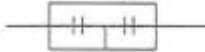


Servicios auxiliares:

Representan las instalaciones realizadas en el equipo de patio y formadas por las fuentes de alimentación de corriente continua y de corriente alterna, de baja tensión que se utilizan para energizar los sistemas de control, protección, señalización, alarmas y alumbrado de una subestación, así como el sistema contra incendio. Los servicios auxiliares se utilizan para alimentar: relés de protección, contadores de energía, equipo de control, señalización, alarmas, resistencias calefactoras e iluminación en los tableros de control. (Merlin, 2013).

1.6 Simbología

Los diagramas unifilares de los diferentes esquemas de las subestaciones presentan símbolos que representan los equipos y dispositivos principales de conexión de una subestación. Para poder entender y utilizar la simbología en capítulos posteriores en la Tabla 1 se muestra los símbolos eléctricos con su respectivo nombre.

Tabla 1. Simbología Equipos Eléctricos

21	Relé de distancia	SA	Switche amperimétrico
26	Relé térmico para los devanados	SV	Switche voltimétrico
50/51	Relé de sobrecorriente		Pararrayos
63	Relé Buchholz		Interruptor (1)
67	Relé de sobrecorriente direccional	52	Interruptor
79	Relé de recierre	OLTC	Cambiador de TAPS bajo carga
86	Relé auxiliar de disparo con bloqueo		Seccionador (1)
87	Relé diferencial		Seccionador
94	Relé auxiliar		Trampa de onda
A	Amperimetro		Fusible
V	Voltimetro		Regulador de voltaje
W	Vatimetro		Capacitor de acople
VAR	Varimetro		Transformador de corriente
kWh	Medidor de energía activa	H3E	Transformador de potencial
kVARh	Medidor de energía reactiva		Transformador de potencia

Fuente: (Aponte, 2009)

1.7 Configuraciones o esquemas

Coronado (2008) define a las configuraciones como el arreglo de los elementos de interrupción de tipo electromecánico y que conforman el patio de conexiones o pertenecientes a un mismo nivel de tensión de una subestación, según el tipo de esquema que caracteriza a la instalación de la subestación y que garantiza diferentes grados de confiabilidad seguridad o flexibilidad para el manejo, transformación y distribución de la energía.

1.7.1 Barra simple

Este tipo de configuración demanda de un bajo presupuesto y es simple, fácil de proteger, ocupa poco espacio y no presenta muchas posibilidades de operación incorrecta; Osorio (2017) señala que si el seccionamiento del barraje se efectúa con el fin de lograr flexibilidad en la subestación, se requiere un planeamiento muy cuidadoso ya que durante la operación normal no se pueden cambiar los circuitos de una barra a la otra.

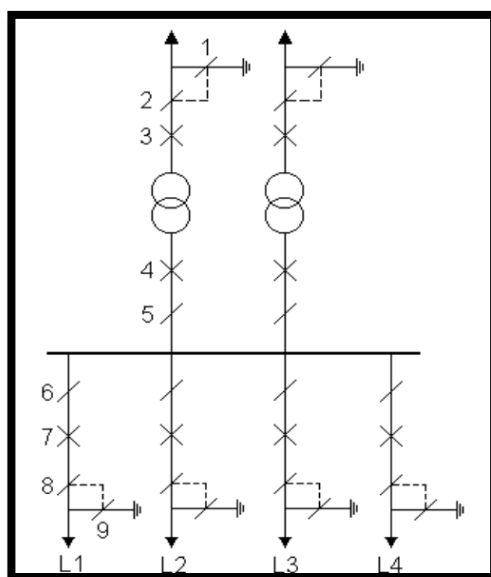


Figura 6. Configuración Barra Sencilla

Fuente: (Aponte, 2009)

Descripción de los elementos presentes en la Figura 6:

- 1 interruptor por circuito
- 2 seccionadores por circuito
- Fallo en barra: se pierden todos los circuitos al despejar los interruptores la falla

- Fallo de interruptor al abrir: se pierden todos los circuitos al abrir el resto de interruptores
- Mantenimiento interruptor: el circuito afectado queda indisponible
- Operación con un nudo eléctrico únicamente.

1.7.2 Barra partida

El esquema de configuración de barraje partida contiene dos barras que deben tener una misma capacidad, las barras se encuentran divididas mediante elementos de corte, esta configuración brinda mayor flexibilidad en el funcionamiento de la subestación, asegurando que el servicio no tenga suspensiones. (Carrión, García, López, & otros, 2015).

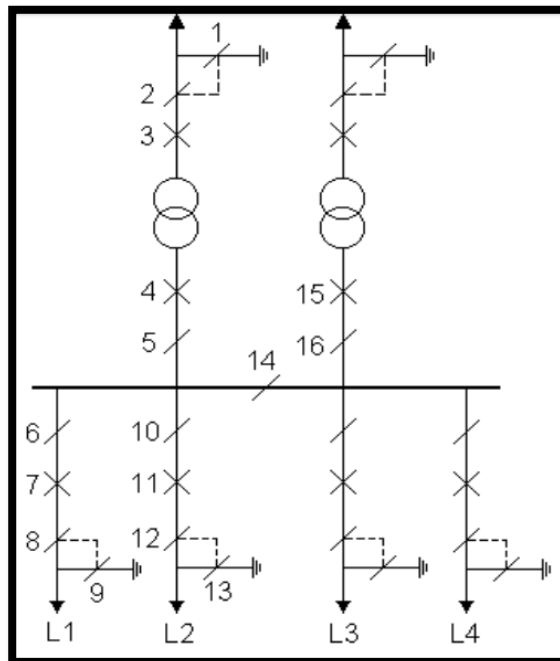


Figura 7. Configuración Barra partida

Fuente: (Aponte, 2009) Barraje partida

1.7.3 Barra simple con by-pass

A este tipo de configuración Ramírez (2014) manifiesta que “reúne, pero no simultáneamente, las características de la barra principal y de transferencia y la doble barra, lográndose que a partir de la doble barra y conectándose un seccionador de bypass” o paso directo al interruptor de cada salida y adicionando además otro seccionador adyacente al interruptor para poder aislarlo, la barra simple con bypass requiere de un

número mayor de equipos por campo, en este tipo de sistema se tiene como desventaja la operación incorrecta durante las maniobras.

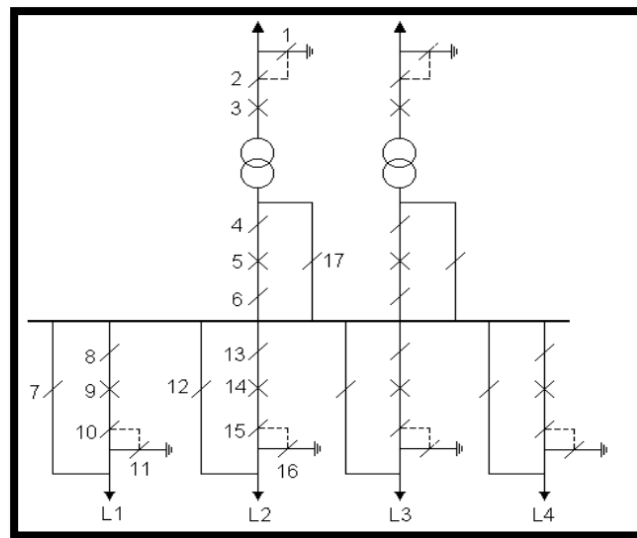


Figura 8. Configuración Barra by-pass

Fuente: (Aponte, 2009)

1.7.4 Barra simple con barra de transferencia

La unión de ambas barras se realiza mediante un módulo de acoplamiento o de enlace de barras. (Sancho, 2014). Así, cuando una línea o transformador es maniobrado para alimentarse a través de su bypass, la protección de ese circuito (línea o transformador), queda transferida al interruptor de acoplamiento.

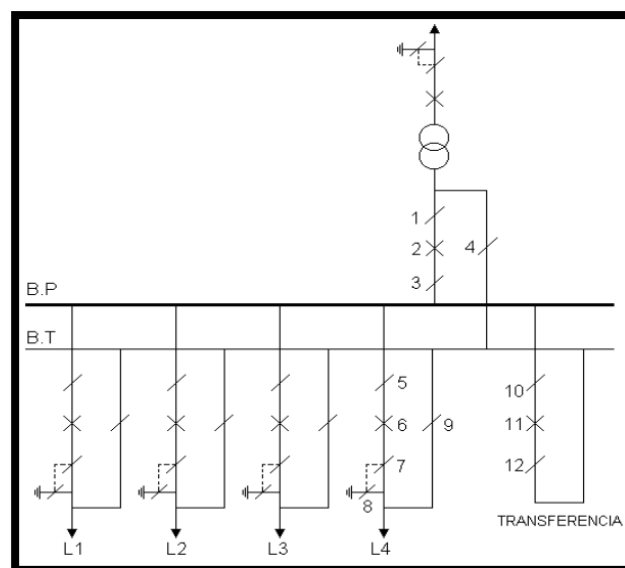


Figura 9. Configuración Barra simple con barra de transferencia

Fuente: (Aponte, 2009)

Descripción de los elementos presentes en la Figura 9:

- 1 interruptor por circuito más 1 de transferencia
- 3 seccionadores por circuito más 2 de transferencia
- Fallo en barra: tras un corte continuidad de servicio. Todos los circuitos quedan protegidos por interruptor de transferencia
- Fallo interruptor: tras un corte, continuidad de servicio
- Mantenimiento interruptor: continuidad de servicio
- Operación con un nudo eléctrico

1.7.5 Anillo o Malla

Esta configuración posee una excelente confiabilidad, seguridad y un ahorro económico cuando sus interruptores están cerrados. Sin embargo, conforme a la ubicación de los equipos para abrir o cerrar un alimentador es fundamental realizar la operación simultánea de dos interruptores provocando la ausencia del servicio eléctrico en otro alimentador, pero como se muestra en la Figura 10 la presencia de los seccionadores en cada alimentador soluciona este problema. (Coronado, 2008).

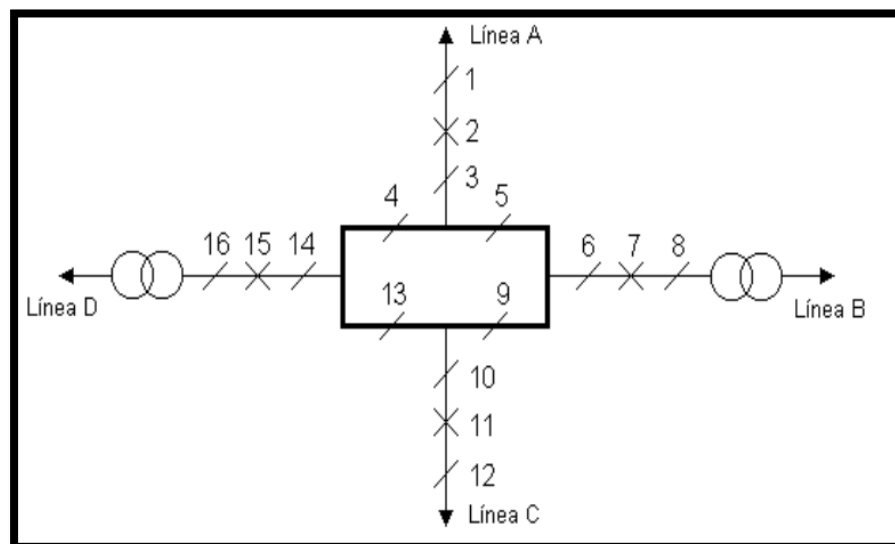


Figura 10. Conexión de anillo - Configuración Barra de anillo

Fuente: (Aponte, 2009)

1.8 Diagrama unifilar

En este diagrama unifilar se visualiza un esquema de una subestación eléctrica que tiene asociado todos los esquemas o configuraciones antes mencionados. Además, es fundamental conocer la simbología usada en la construcción de diagrama unifilar de una subestación eléctrica.

El esquema planteado muestra una subestación de distribución con un transformador, en la parte de alto voltaje existe un interruptor para la energización del transformador y en la parte de medio voltaje a la salida del transformador se encuentra un interruptor que se conecta con la barra principal.

Existe una barra principal y una de transferencia, desde la barra principal se muestran dos alimentadores que están formados por un interruptor y dos seccionadores. En el alimentador 1 se visualiza un seccionador By – pass en paralelo, en la barra de transferencia se muestra un interruptor para la conexión de barras y un seccionador que se conecta desde el barraje de transferencia para cada alimentador.

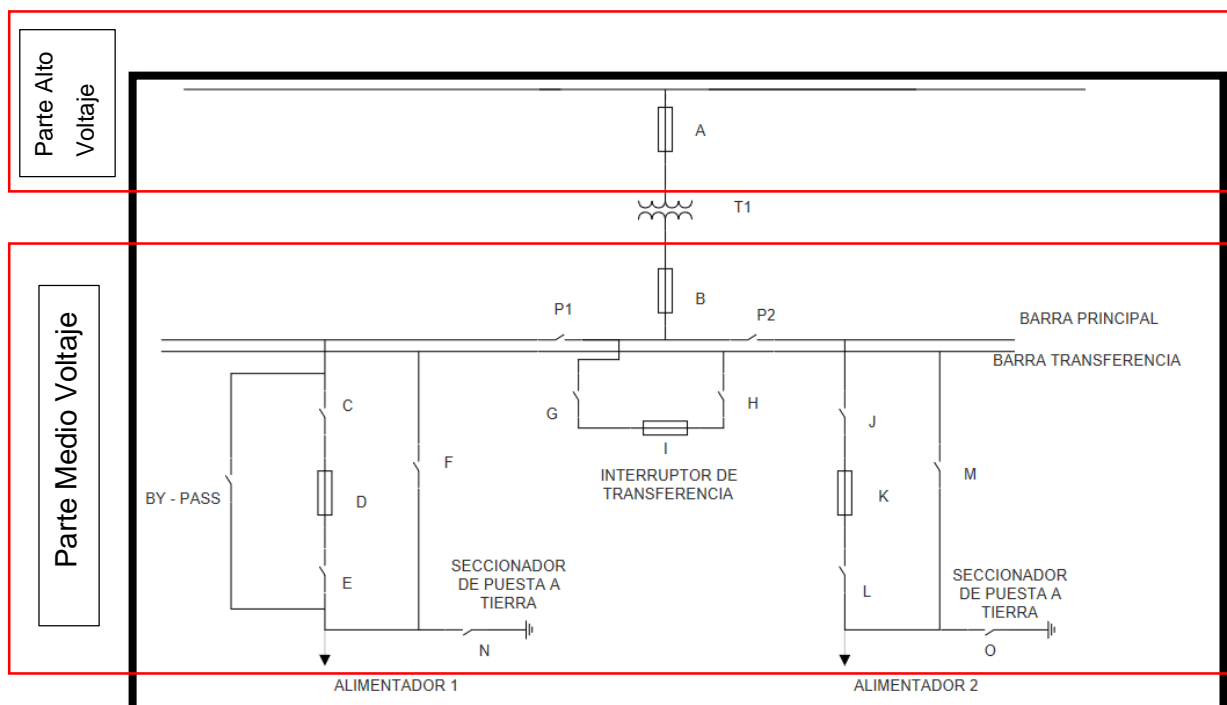


Figura 11. Diagrama unifilar de una subestación eléctrica

Fuente: Autor

1.8.1 Disposición de equipos en patio

A continuación, se muestran las vistas en planta y vistas en corte del diseño didáctico de la subestación eléctrica con respecto al diagrama unifilar de la Figura 11.

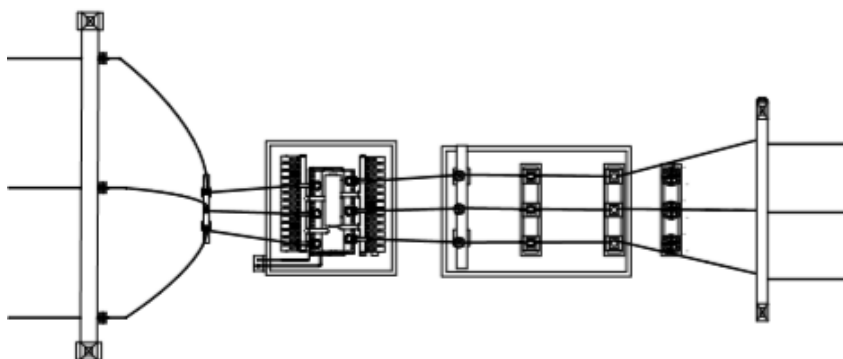


Figura 12. Parte de transformación (vista en planta)

Fuente: Autor

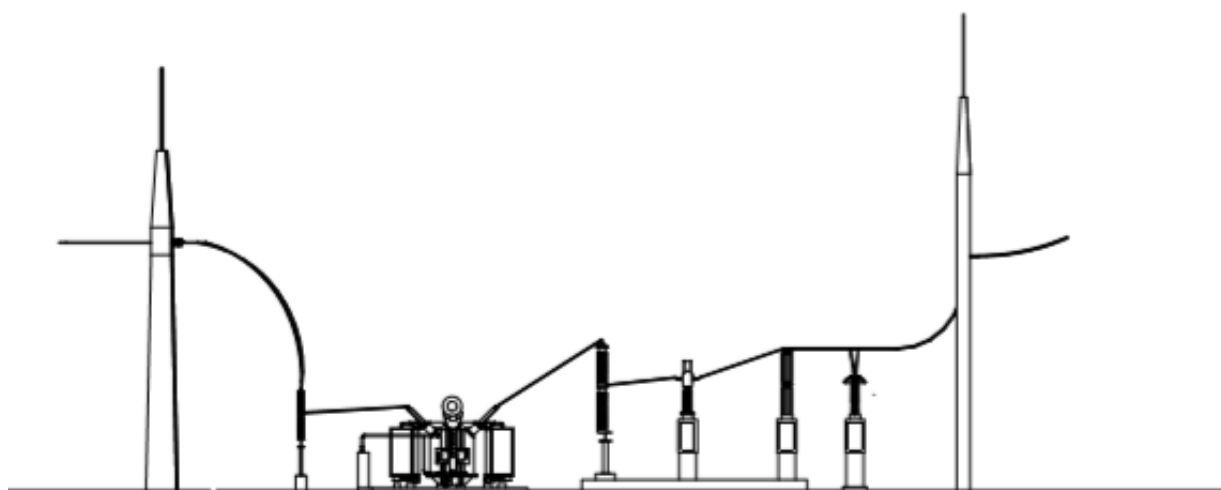


Figura 13. Parte de transformación (vista en corte 1-1)

Fuente: Autor

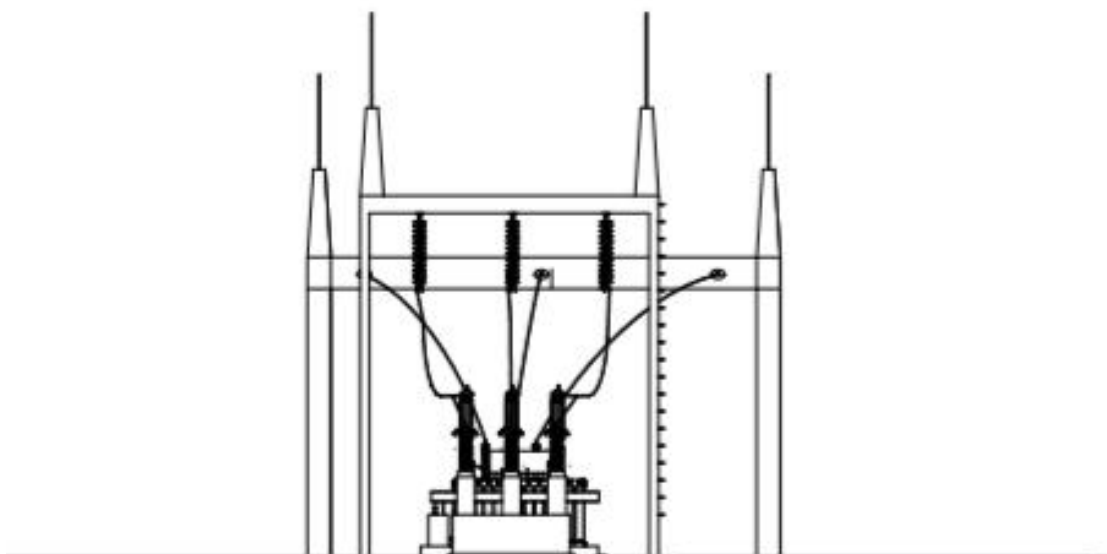


Figura 14. Parte de transformación (vista en corte 2-2)

Fuente: Autor

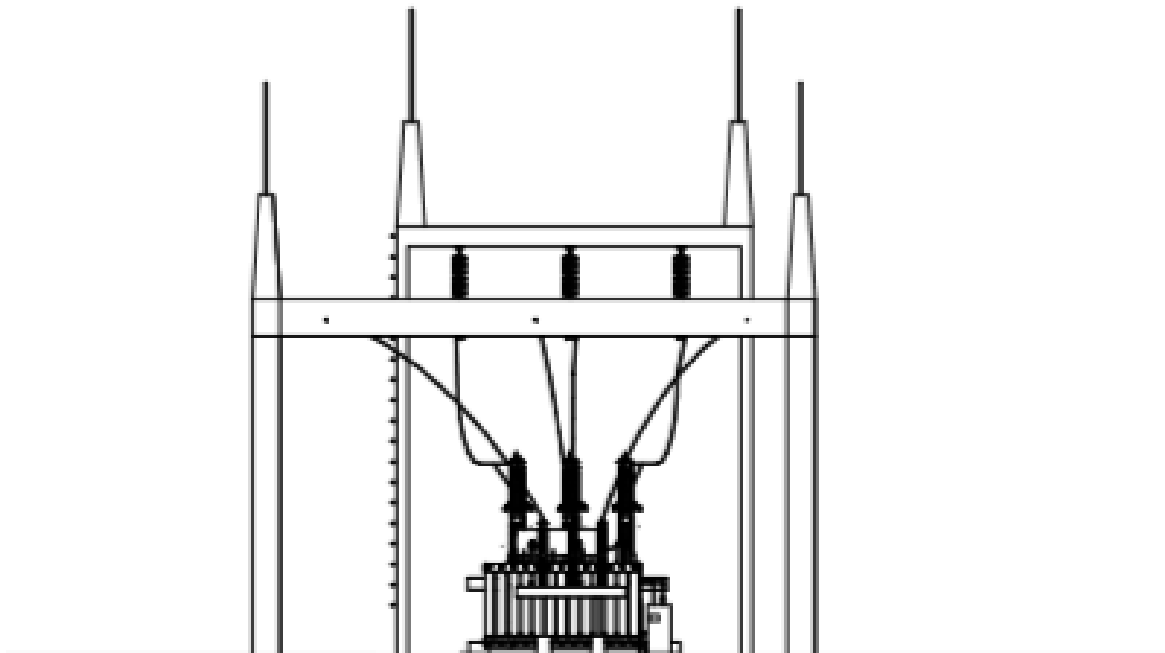


Figura 15. Parte de transformación (vista en corte 3-3)

Fuente: Autor

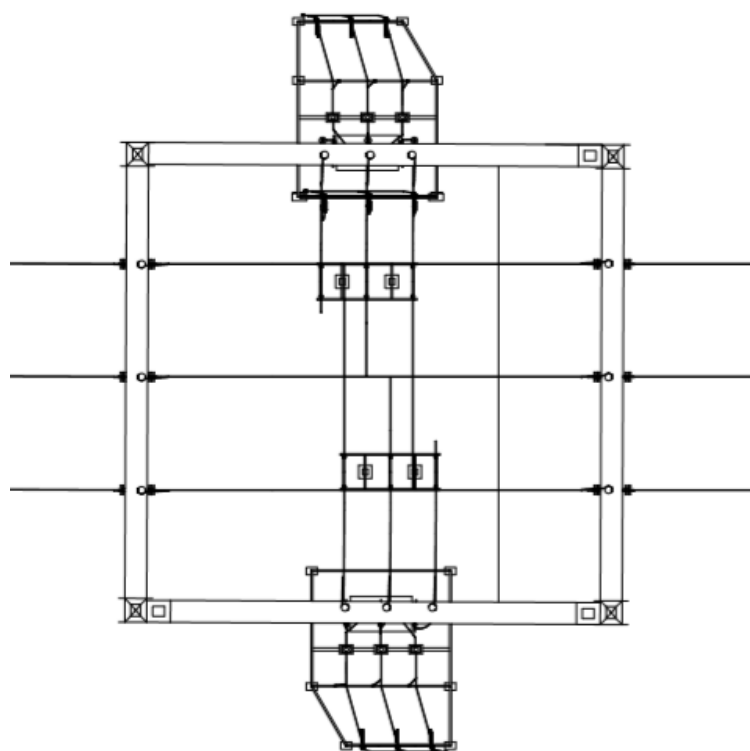


Figura 16. Barra seccionada y transferencia (vista en planta)

Fuente: Autor

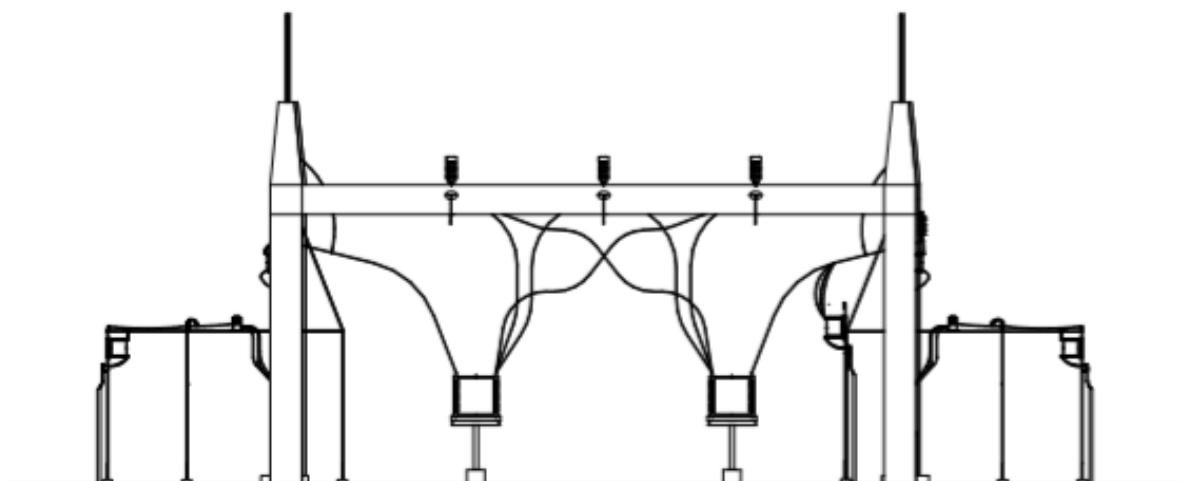


Figura 17. Barra seccionada y transferencia (vista en corte 1-1)

Fuente: Autor

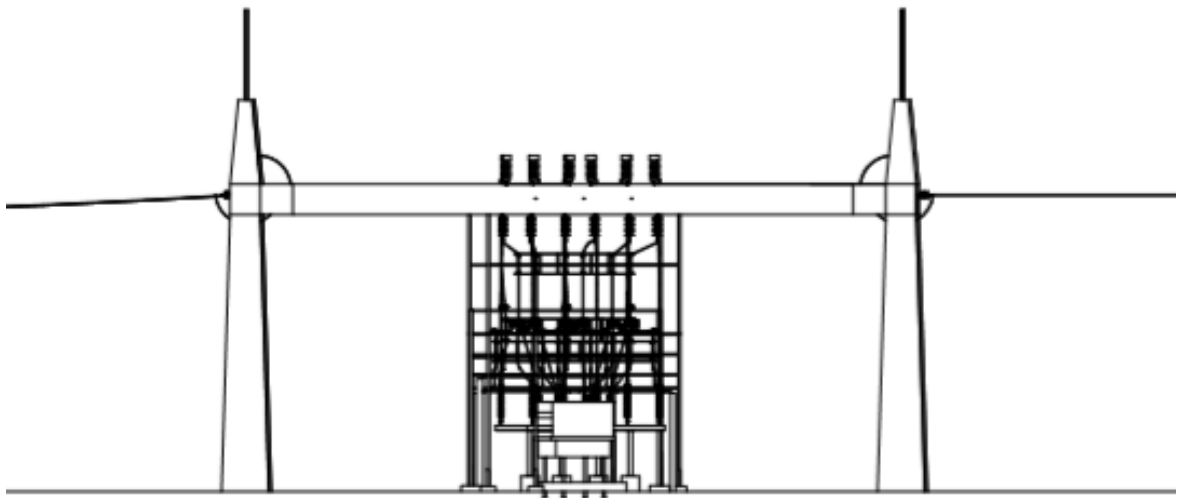


Figura 18. Barra seccionada y transferencia (vista en corte 2-2)

Fuente: Autor

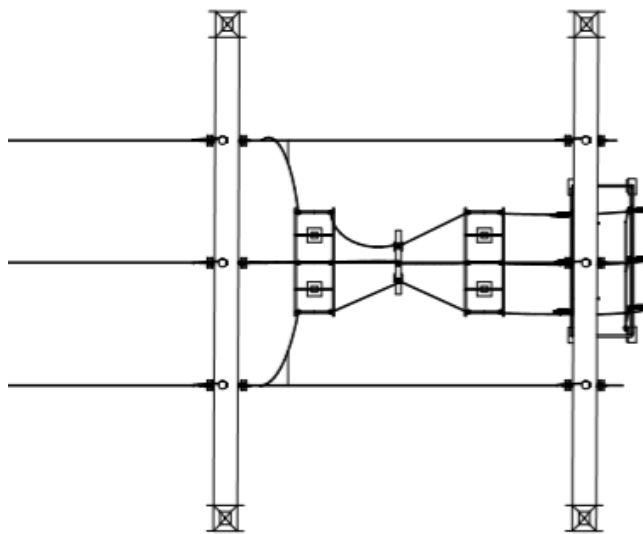


Figura 19. Barra de transferencia (vista en planta)

Fuente: Autor

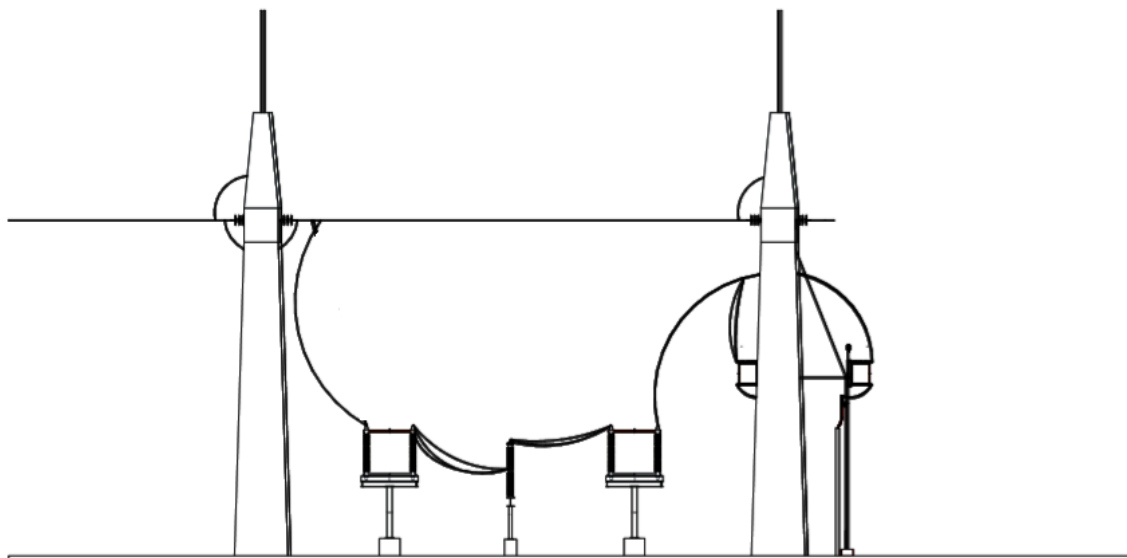


Figura 20. Barra de transferencia (vista en corte 1-1)

Fuente: Autor

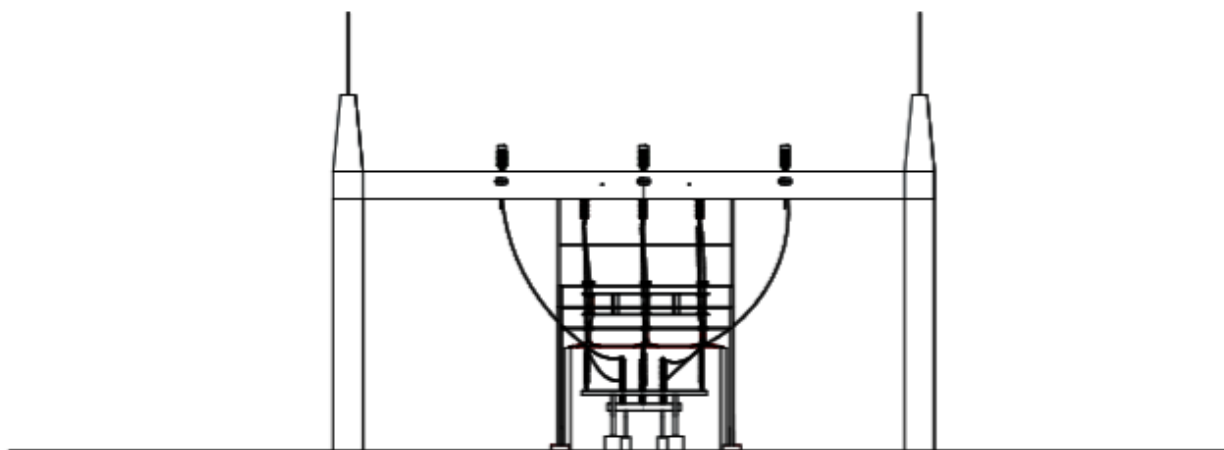


Figura 21. Barra de transferencia (vista en corte 2-2)

Fuente: Autor

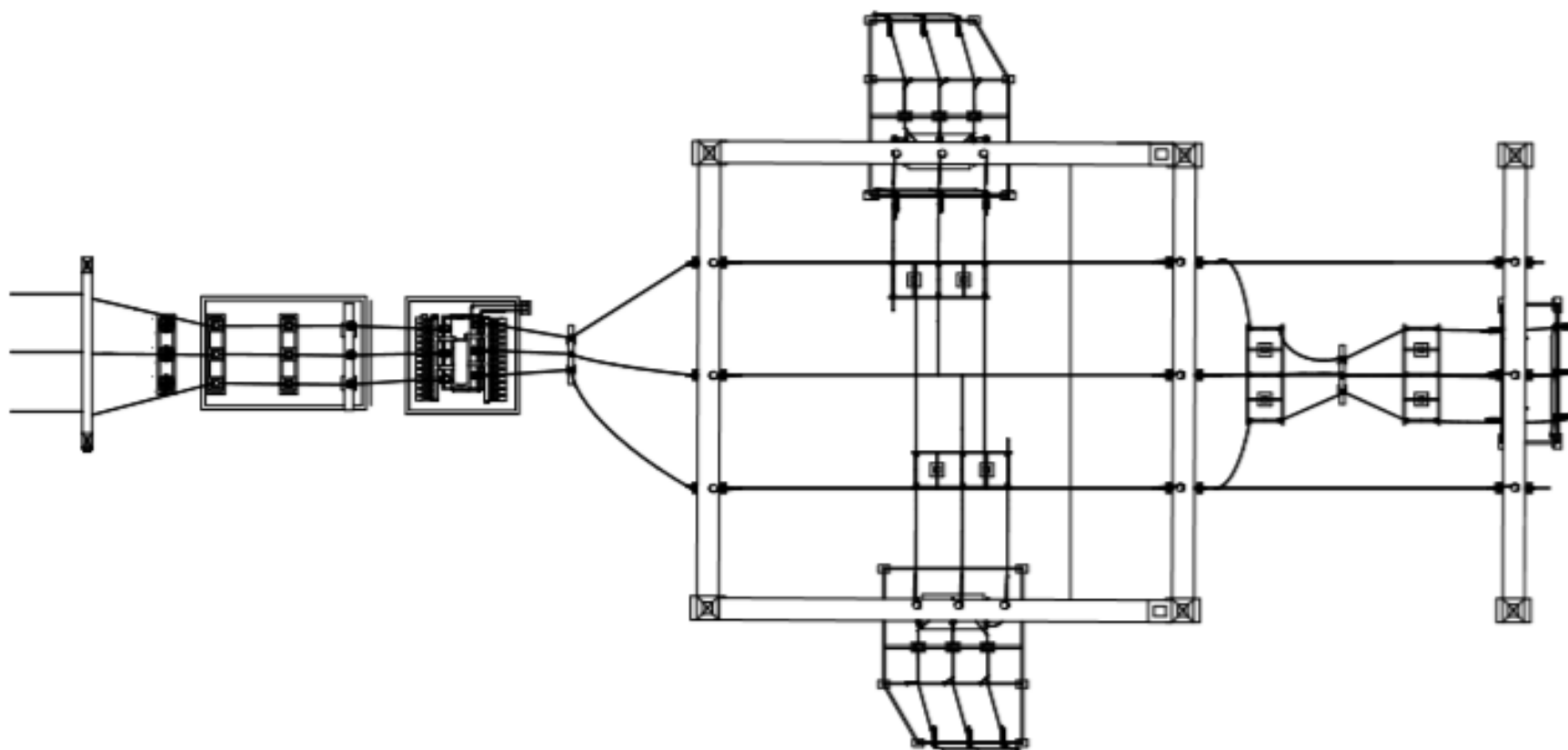


Figura 22. Subestación completa (vista en planta)

Fuente: Autor

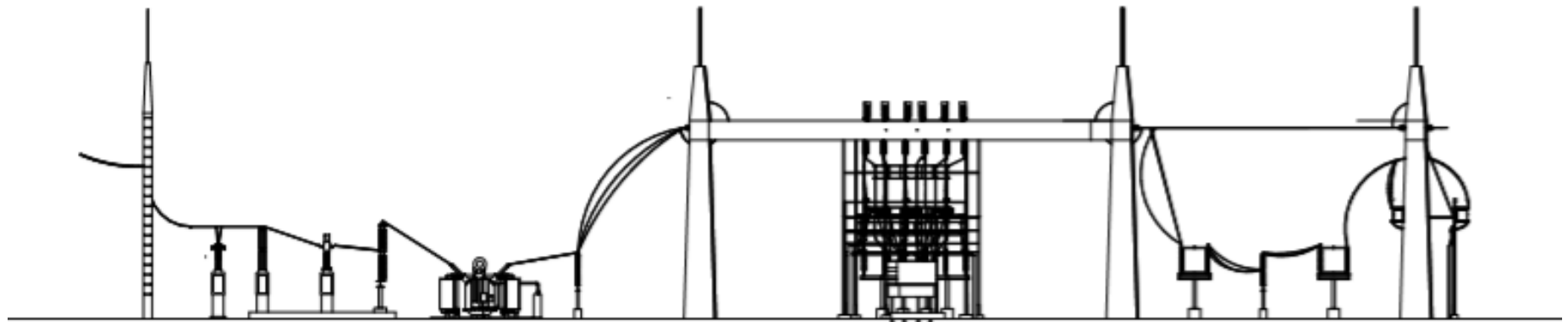


Figura 23. Subestación completa (vista en corte 1-1)

Fuente: Autor

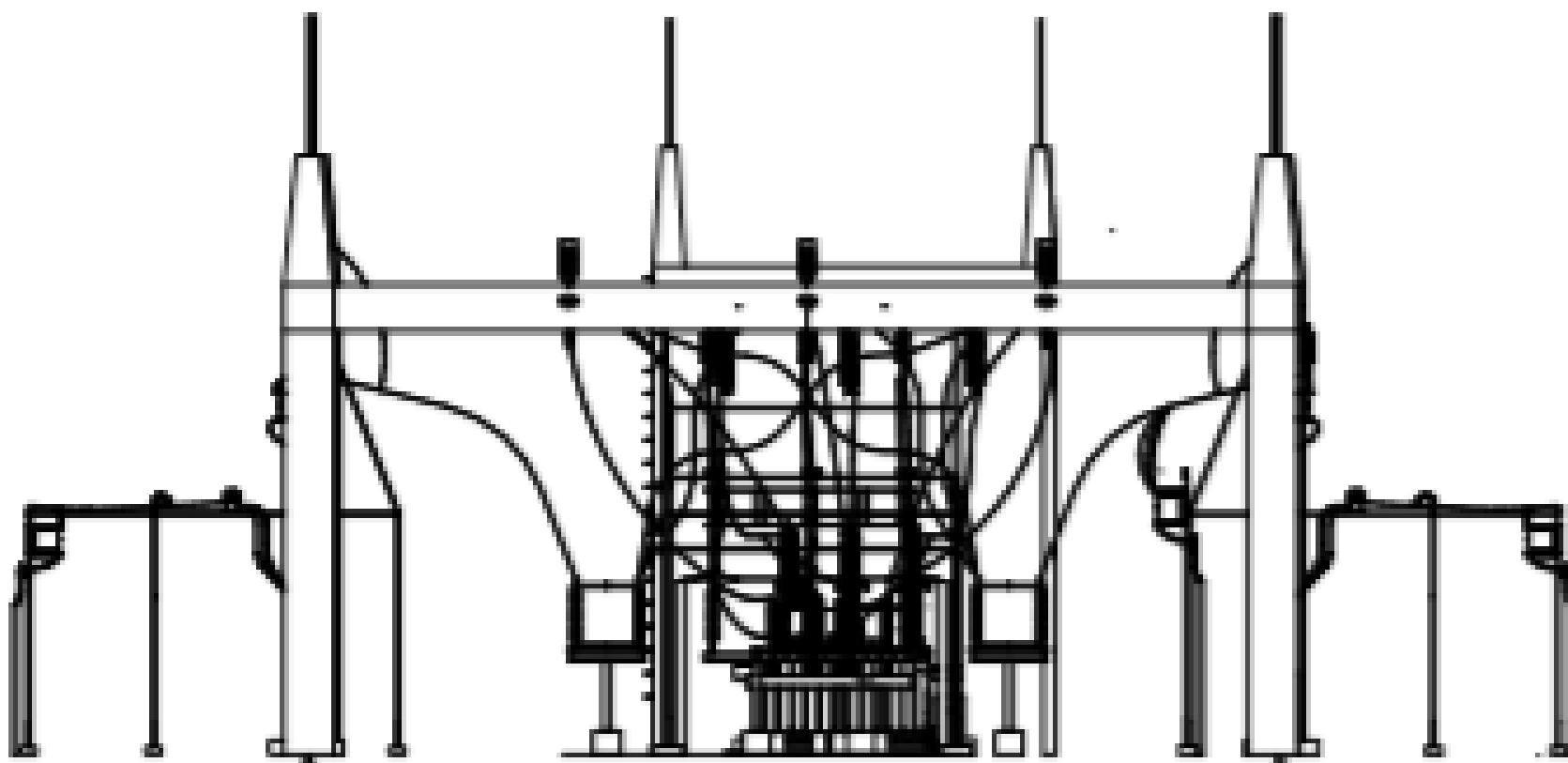


Figura 24. Subestación completa (vista en corte 2-2)

Fuente: Autor

1.9 Maniobras en las subestaciones eléctricas

Para definir a las maniobras en las subestaciones Gil (2011) manifiesta que:

Son las operaciones voluntarias que provocan un cambio de estado en una instalación o equipo eléctrico por medio de operaciones sobre los elementos de corte de las subestaciones eléctricas, bajo la coordinación del despacho de explotación o centro de maniobras de distribución de la subestación, (p. 12).

Una maniobra en las instalaciones eléctricas se realiza sin interrupciones, este tipo de trabajo en las subestaciones se conocen como operaciones deliberadas, están enfocadas a provocar un cambio de estado en una instalación o equipo eléctrico a través de las operaciones sobre los elementos de corte de las subestaciones eléctricas, bajo la coordinación del despacho de explotación (de) o del centro de maniobras de distribución (CMD). (Carvajal, 2007).

Los equipos de maniobras permiten realizar tanto los cortes como las medidas de magnitudes eléctricas de un sistema de protección, entre ellos: seccionadores, transformadores de medida de corriente y de voltaje, descargadores de sobrevoltaje, entre otros.

1.9.1 Principales maniobras

Las maniobras en una subestación se distinguen en dos tipos: de explotación y de seguridad:

- Maniobras de explotación: se realizan con la finalidad de modificar el estado de una instalación o equipo eléctrico, maniobras que se realizan para atender las necesidades de su explotación. (Granero, 2016).
- Maniobra de seguridad: la finalidad de este tipo de maniobra es garantizar la seguridad del personal operativo que realiza los trabajos sobre una instalación o equipo eléctrico. (Granero, 2016).

Los equipos principales que intervienen en las maniobras de las subestaciones eléctricas son los siguientes:

- Interruptores
- Seccionadores

El seccionador es el dispositivo de maniobra que generalmente va asociado con los interruptores y cuya función es la de interrumpir de forma visible el paso de corriente en un circuito, estas funciones permiten las operaciones de apertura y cierre en vacío, es decir sin carga en la instalación y por ello sin que circule corriente a través de los mismos. (Gil, 2011).

1.9.2 Propiedades de operación de los aparatos de corte

- El seccionador opera sin carga o en vacío, además permite la visualización de corte de los circuitos. (Gil, 2011).
- El interruptor permite la extinción del arco eléctrico durante la apertura de un circuito, por lo cual tiene la función de apertura de circuitos con carga y en vacío. (EmelNorte, 2013).
- Las cuchillas de puesta a tierra cumplen su función, con la condición de ausencia de voltaje en la línea, (EmelNorte, 2013).

1.9.3 Personal de operación

A. Jefe de mantenimiento

Persona responsable de vigilar un funcionamiento óptimo del sistema.

B. Jefe de operación

Persona responsable de supervisar los procedimientos de maniobras.

C. Operador de subestaciones

Personal profesional que tienen a cargo acciones y responsabilidades:

- Ejecutar maniobras.
- Vigilar el funcionamiento de cada equipo.
- Recolección de mediciones, datos de operación.

- Aplicar y controlar el cumplimiento de normas de protección y seguridad.

1.9.3.1 Estado operativo de equipos

- Adecuada

La acción que se va emplear dentro de la instalación debe ser la apropiada para el fin establecido.

- Reflexiva

Actuar con profesionalismos para tomar la mejor decisión ante un problema en la subestación eléctrica.

- Correcta

Ejecutar las maniobras de acuerdo a los pasos, reglas, normas establecidos para garantizar la solución. (EmelNorte, 2013).

- Segura

La operación a efectuar no debe presentar riesgos de peligro al personal o equipos. (EmelNorte, 2013).

1.9.4 Seguridad

1.9.4.1 Reglas de oro

1. Corte visible de las fuentes de tensión

Implica la desconexión, con corte visible de la fuente de tensión a través de dispositivos de corte (seccionadores e interruptores). (Dispac, 2015).

2. Bloqueo de los aparatos de corte

Bloqueo físico. – Tiene la facultad de impedir el accionamiento de equipos de corte.

Bloqueo eléctrico. – No permite la operación de aparatos de corte mediante la desconexión del circuito de alimentación.

3. Comprobación

En esta regla se identifica la ausencia de tensión con equipos de medición y equipos de protección personal para tener la completa certeza de la ausencia de tensión. (Dispac, 2015).

4. Puesta a tierra

Se aplica la puesta a tierra y se cortocircuitan todas las fuentes de tensión debido a que aún existen riesgos de electrocución por fenómenos de inducción magnética, atmosféricos y por cierre intempestivo. (Gil, 2011).

5. Señalización

Está vinculado con la delimitación de la zona de trabajo para salvaguardar al personal y a las personas que están presentes en la zona de trabajo, además se debe usar la señalización adecuada dependiendo la hora a efectuarse el trabajo.

1.9.5 Análisis de maniobras

El análisis de maniobras permite identificar las condiciones iniciales en que se encuentra el equipo, así como las maniobras o pasos realizados y el estado final del equipo.

Para el análisis de maniobras se inicia con la fase inicial mediante la preparación del campo, que corresponde la acción de desconexión de las puestas a tierra y cerrar los seccionadores, en esta fase permanece abierto únicamente el interruptor principal; en la preparación del campo se debe tomar en cuenta las siguientes maniobras:

1. Retirar puesta a tierra: Es abrir en forma manual el seccionador (cuchilla) de puesta a tierra y así como retirar las puestas a tierra portátiles. (Osorio Patiño & Culma Ramírez, 2017, pág. 13).
2. Cerrar los seccionadores de barras: Una vez que se ha retirado la puesta a tierra y previa su verificación de que estén en posición abierta todos los contactos principales de los interruptores, se procede a cerrar los seccionadores adyacentes al interruptor del campo que se solicita preparar. (Gil, 2011, pág. 42).

3. Revisión de alarmas y señalización: Se realiza la verificación de que los dispositivos de alarma y señalización se encuentren en la posición o en condiciones correctas de trabajo. (Catañeda, 2014, pág. 38).
4. Aviso de terminación de preparación del campo: Consiste en la comunicación que envía el operador de la subestación al personal correspondiente o partes interesadas para informar que el campo está preparado. (Gil, 2011, pág. 43).

1.9.6 Proceso de maniobras

- “Todo proceso de maniobras se deberá realizar, en lo posible, sin interrupciones” (Osorio Patiño & Culma Ramírez, 2017, pág. 72).
- “Un proceso de maniobra que se ha iniciado, sólo se deberá suspender o interrumpir en situaciones especiales o de emergencia” (Osorio Patiño & Culma Ramírez, 2017, pág. 72).
- “En cada paso del proceso, se deberá comprobar que el resultado de la orden corresponde a la expectativa esperada” (Osorio Patiño & Culma Ramírez, 2017, pág. 72).
- “Al dar la orden de abrir un interruptor se deberá comprobar mediante los instrumentos la interrupción de corriente en el circuito” (Osorio Patiño & Culma Ramírez, 2017, pág. 72).
- Cada vez que se realiza una maniobra, es fundamental prestar la debida atención a lo que se está haciendo. Lo más peligroso durante un proceso de maniobras es la mecanización, es decir, proceder en forma distraída sin estar atento y consciente de la maniobra que se realiza. (Osorio Patiño & Culma Ramírez, 2017, pág. 72).

1.9.6.1 Condiciones para la ejecución de una maniobra

- Confirmar con las distribuidoras, en aquellos programas de mantenimiento que requieren traslado de carga entre circuitos, que estos han sido afectados en su totalidad, antes de proceder a las aperturas asociadas al mantenimiento, con el fin de evitar que estas aperturas produzcan suspensiones de servicio no programadas. (Osorio Patiño & Culma Ramírez, 2017).
- Verificar las condiciones de cargabilidad de los elementos asociados al dispuesto en la consignación, con el fin de confirmar si la salida de este no lleva asociada una

condición de sobrecarga o de riesgo para el sistema. (Osorio Patiño & Culma Ramírez, 2017).

- Ordenar las maniobras correspondientes. (Osorio Patiño & Culma Ramírez, 2017).

1.9.6.2 Maniobras en los equipos

Pasos para desconectar un circuito

1. Desconectar el banco de capacitores. (Si hubiere)
2. Abrir el interruptor.
3. Abrir los seccionadores barras y línea respectivamente.
4. Cerrar las cuchillas de puesta a tierra.

Pasos para conectar un circuito

1. Abrir las cuchillas de puesta a tierra.
2. Cerrar los seccionadores barras y línea abiertos respectivamente.
3. Cerrar el interruptor.
4. Conectar el banco de capacitores. (si hubiere)

1.9.6.3 Secuencia de operación de una maniobra

En las subestaciones eléctricas se realiza labores de mantenimiento o reparación, por lo cual es necesario sacar de servicio a un barraje, elementos de corte y mando y a líneas que llegan a la subestación.

Los pasos que se siguen para la conexión y desconexión de elementos de una subestación, se denomina secuencias de operación. Estas dependen de la configuración y de la maniobra que se desea realizar.

En la Figura 25 se muestra una configuración de barraje sencillo, en la cual se establece que las condiciones iniciales son interruptores y seccionadores abiertos excepto 1, 2 y 6, con lo cual se asume que la subestación se encuentra fuera de servicio.

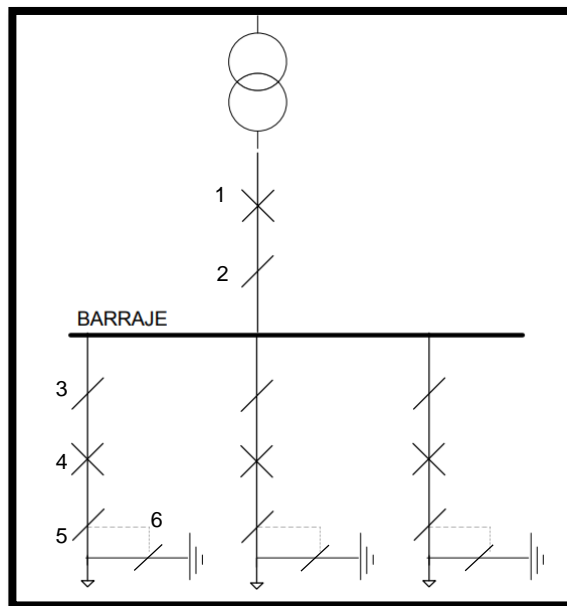


Figura 25. Barraje sencillo con puesta a tierra

Fuente: (Aponte, 2009)

Para restablecer el servicio:

1. Abrir 6 seccionador de tierra y retirar las tierras portátiles. Revisar las tierras portátiles.
2. Revisar visualmente el estado final del seccionador de tierra.
3. Cerrar 3 y 5 seccionadores de línea. Revisar visualmente el estado final de estos seccionadores.
4. Esta operación de cierre de los seccionadores se realiza estando absolutamente seguros de que se han abierto las cuchillas de tierra.
5. Para la energización de un circuito o alimentador cerramos el interruptor 4.
6. Revisión de alarmas y señalización. Verificar que los dispositivos de alarma y señalización estén en posición de trabajo.

1.10 Dispositivos empleados para realizar maniobras

Anteriormente se conoció acerca de los elementos de patio que cumplen la función de energización y desenergización en una subestación eléctrica, pero es importante mencionar los elementos de mando de dichos elementos.

Es posible realizar el control de mando de dos formas:

- **Local:** desde el panel de control
- **A distancia:** desde un sistema SCADA.

Los elementos sobre los que se puede realizar el mando y visualización al operar son:

- Conmutadores
- Pulsadores
- Luces indicadoras

1.10.1 Conmutadores

Su función es cambiar el estado de los contactos; un contacto normalmente abierto se cierra y un contacto normalmente cerrado se abre, según la posición del selector. (Linux, 2016).

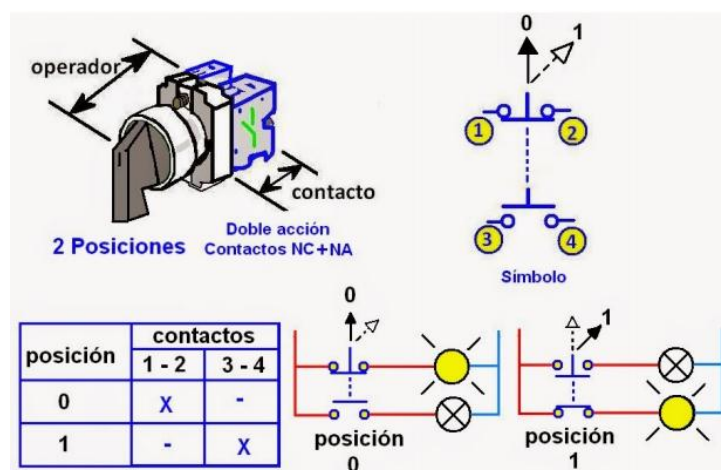


Figura 26. Esquema conmutador

Fuente: (Linux, 2016)

1.10.2 Pulsadores

Son dispositivos que al actuar sobre ellos cambia su estado y su característica es un contacto normalmente abierto se cierra y contacto normalmente cerrado se abre siempre y cuando se mantenga pulsado el dispositivo, por ello el pulsador paro de emergencia es usado en el control de maniobras en una subestación. (Linux, 2016).

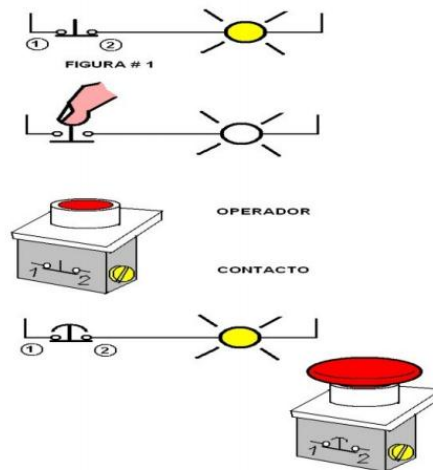


Figura 27. Símbolo pulsador

Fuente: (Linux, 2016)

1.10.3 Luces indicadoras

Su función es alertar o avisar al operador en qué estado se encuentra un equipo al ser controlado de manera local o remota con un sistema SCADA.



Figura 28. Luces indicadoras

Fuente: (AliExpress, 2019)

1.11 Sistema SCADA

SCADA son las siglas de Supervisory Control and Data Acquisition: según National Instrument (2006) este sistema comprende del interfaz hombre – máquina (HMIs) y que además permite el registro de datos, que tiene la capacidad de generar alarmas y administrar un sistema de control que se realiza a través de una red de hardware generalmente de tipo PLCs y PACs.

La innovación y ejecución SCADA tienen una importancia muy significativa en el desarrollo de las nuevas tecnologías de la información y comunicación (TIC); además, este sistema se implementó como respuesta a la necesidad de operación de los sistemas de centro de control. (Villegas, 2015).

SCADA funciona como un software cuya función es acceder a datos con una conexión remota, Rodríguez (2012) señala:

Utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo, la utilidad de software para monitorizar o supervisar y que realice la tarea de interfaz entre los niveles de control (Controlador) y los de gestión, a un nivel superior. (p. 70).

El software de este sistema permite ser operado con la utilización de entornos gráficos, proporcionando información que facilita la toma de decisiones y la supervisión de los procesos de planificación y ejecución. La estructura de la programación en el software aporta a la mejora de la calidad de los productos, reducción de costos y la automatización de los procesos, puesto que contribuye con información en el proceso y al instante, lo que permite en forma precisa y oportuna detectar fallos, realizar el diagnóstico y control de los mismos. (Reyes F., 2016).

SCADA requiere de una herramienta que en la administración del sistema se le conoce como Human Machine Interface (HMI) cuya traducción al español se define como interfaz hombre – máquina; que constituye un panel a través del cual el operador es capaz de controlar la maquinaria y ver diferentes procesos en una planta, ya que es Interfaz de usuario utilizada en sistemas de automatización de procesos; es necesario resaltar que la interfaz requiere cumplir con los requisitos de funcionalidad, confiabilidad, disponibilidad, seguridad, integridad, estandarización, integración, consistencia y soporte. (National Instrument, 2006).

Para que el SCADA brinde beneficios óptimos, sea eficiente y aproveche su infraestructura debe cumplir varios objetivos. Según (Pérez E. , 2015) deben ser sistemas de arquitectura abierta (capaces de adaptarse según las necesidades de la empresa), brindar facilidades de comunicación al usuario con el equipo de planta y resto de la empresa (redes locales y de gestión), deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware y también tienen que ser de fácil utilización.

1.11.1 Elementos principales de un sistema SCADA

- **Estación maestra**

Representa los servidores y software responsables de la comunicación con la unidad terminal remota, además esta parte de la arquitectura SCADA presenta la información al operador permitiendo monitorear, controlar, generar alarmas, seguridad. (National Instrument, 2006).

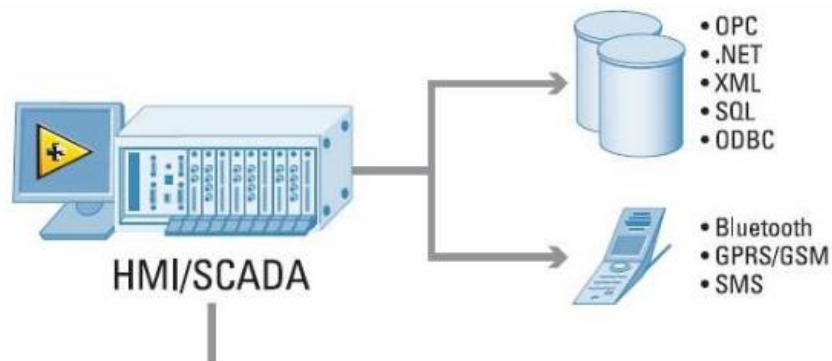


Figura 29. Estación Maestra / Computadoras HMI:

Fuente: National Instrument (2006) Componentes del sistema SCADA

- **Unidad de terminal remota**

Las unidades de terminal remota (RTU) se conectan al equipo físico, leen los datos de un interruptor o válvula, o mediciones como temperatura, flujo, o presión, con las unidades de RTU se puede realizar un control automatizado, así como el control de todas las señales de entrada y salida del campo como válvulas de los equipos de medición, motores entre otros componentes de la unidad, permitiendo el monitoreo eficiente de las condiciones en las que operan los dispositivos del campo. (Jiménez, 2017).

PAC: Controlador de Automatización Programable

PLC: Controlador Lógico Programable

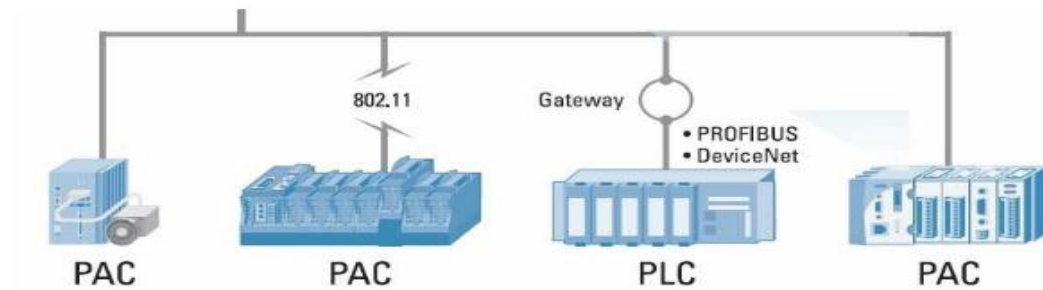


Figura 30. Múltiples Unidades de Terminal Remota

Fuente: National Instrument (2006) Componentes del sistema SCADA

Infraestructura de Comunicación:

La infraestructura de comunicación es la unidad que conecta a las diferentes terminales remotas y las estaciones en el sistema, que pueden estar instaladas en un sistema SCADA a pequeña o a gran escala, la estación maestra puede incluir muchos servidores, aplicaciones de software distribuido, y sitios de recuperación de desastres. (Ramírez C., 2014).

Los principales elementos del sistema SCADA son el HMI, la terminal remota y sus unidades que se representan en la Figura 31. Componentes del sistema SCADA.

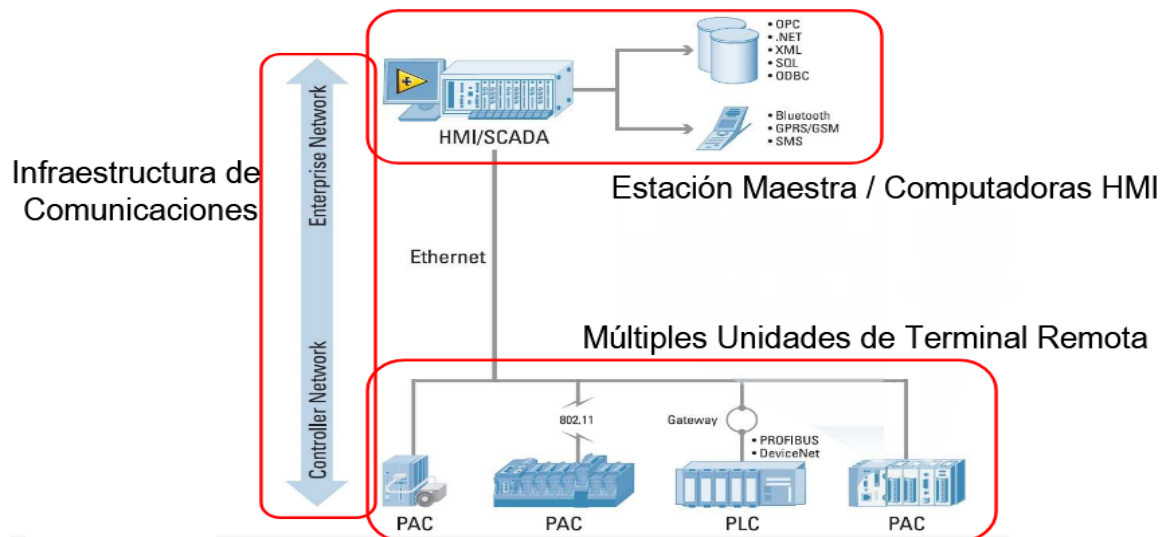


Figura 31. Componentes del sistema SCADA

Fuente: National Instrument (2006) Componentes del sistema SCADA

1.11.2 Funciones del sistema SCADA

- Monitorear proactivamente las condiciones del sistema para evitar o minimizar las interrupciones.
- Analizar, filtrar, y correlacionar alarmas para acelerar las respuestas del operador.
- Aislar rápidamente la raíz del problema para acelerar la solución.
- Guiar a los operadores a través del restablecimiento del sistema y del servicio.
- Proveer una orientación experta para que los operadores de todos los niveles puedan responder efectivamente a los problemas. (Villegas, 2015).

1.12 Tablero de simulación de maniobras

El estudio acerca de los equipos de maniobras y los procesos de conexión y desconexión en una subestación eléctrica son temas fundamentales para el diseño y construcción del tablero de simulación de maniobras. Además, esta información permitirá establecer condiciones y bloqueos en la programación del controlador; el planteamiento de las secuencias de operación se las realiza de acuerdo a la configuración de la subestación que se muestra la Figura 11.

Esta investigación bibliográfica brinda conocimientos para el diseño de la arquitectura SCADA que se desea implementar en el tablero de simulación de maniobras de una subestación eléctrica, la recolección de información relevante contribuye en el desarrollo del trabajo de grado para cumplir con los objetivos propuestos, revisión y aprobación que permitan conformar un prototipo con estética y que se caracterice por ser manejable y confiable.

CAPÍTULO II

2 DESARROLLO

2.1 Introducción

Un simulador de maniobras de una subestación eléctrica contribuirá en el mejoramiento del aprendizaje teórico – práctico de los estudiantes de la carrera de CIELE. Además, cumpliendo con los objetivos establecidos se implementará un sistema SCADA (Supervisión Control y Adquisición de Datos) para ser monitoreado y controlado en tiempo real de manera local o remoto.

El diseño del diagrama de la subestación eléctrica cuenta con una asociación de diferentes configuraciones para realizar ampliamente la operación de maniobras en una subestación eléctrica. El módulo didáctico de simulación será flexible para considerar diferentes condiciones que se presentan inmerso en la operación de maniobras de una subestación eléctrica.

2.2 Análisis del objetivo

La implementación del módulo didáctico para la simulación de maniobras de una subestación eléctrica aporta a la preparación de sistemas de control, permitiendo monitorear y supervisar el proceso a distancia mediante un sistema SCADA. Además, el tablero de control tiene la posibilidad de ejecutar las maniobras de manera local y remota.

2.3 Ubicación física

La implementación del módulo de simulación para operación de maniobras se efectuó en el laboratorio de control perteneciente a la carrera de CIELE, además se utilizaron diferentes lugares que aportaron en la solución de varias necesidades para concluir el trabajo.

2.4 Desarrollo del proyecto

El trabajo de grado se implementó con el fin de aportar un módulo didáctico al laboratorio de control de la carrera de CIELE ubicado en la Universidad Técnica del Norte. Donde se




entregará un tablero que tendrá la parte de control y monitoreo de maniobras de una subestación eléctrica.

El diseño del diagrama fue realizado de acuerdo a las medidas de cada elemento y al diagrama unifilar de la subestación en el software SOLIDWORK y Sketch Up, el cual permitió la distribución correcta de los elementos. Además, la ejecución del control del tablero fue mediante el controlador ARDUINO con la finalidad de realizar una interfaz de comunicación con LabVIEW, lo cual permitió crear un sistema SCADA dirigido a la operación de maniobras de una subestación. Para la selección del controlador y el software SCADA se realizó una comparación entre posibles alternativas.






2.4.1 Aspectos técnicos

Las especificaciones de los elementos presentes fuera y dentro del tablero se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valore de magnitudes eléctricas de elementos del tablero de control

Elemento	Nombre	Cantidad	Especificaciones
	Arduino Mega	1	ATmega2560 54 pines digitales 5V 16 pines análogos
	Modulo relé	3	8 canales 5 V
	Disyuntor bipolar	1	120 V 4 A

	Porta fusible	1	Marca Sassin 32 A
	Fusible	1	Fusible de 4 A
	Luces indicadoras rojas	21	120/240 V
	Luces indicadoras verdes	21	120/240 V
	Luces indicadoras azules	2	120/240 V
	Selectores de 2 posiciones	21	5 V 2 posiciones
	Fuente de alimentación AC/DC 5V	1	Entrada: 120/240 Salida: 5V – 2.5 A

	Fuente de DC 12V	1	Entrada: 120/240 Salida: 12V – 1 A
	Tomacorrientes	1	120/240 V
	Canaleta	2	-----
	Espiral para cable 5/8"	4 m	-----
	Espiral para cable 1/2"	6 m	-----

Fuente: Autor

2.4.2 Diagrama de flujo

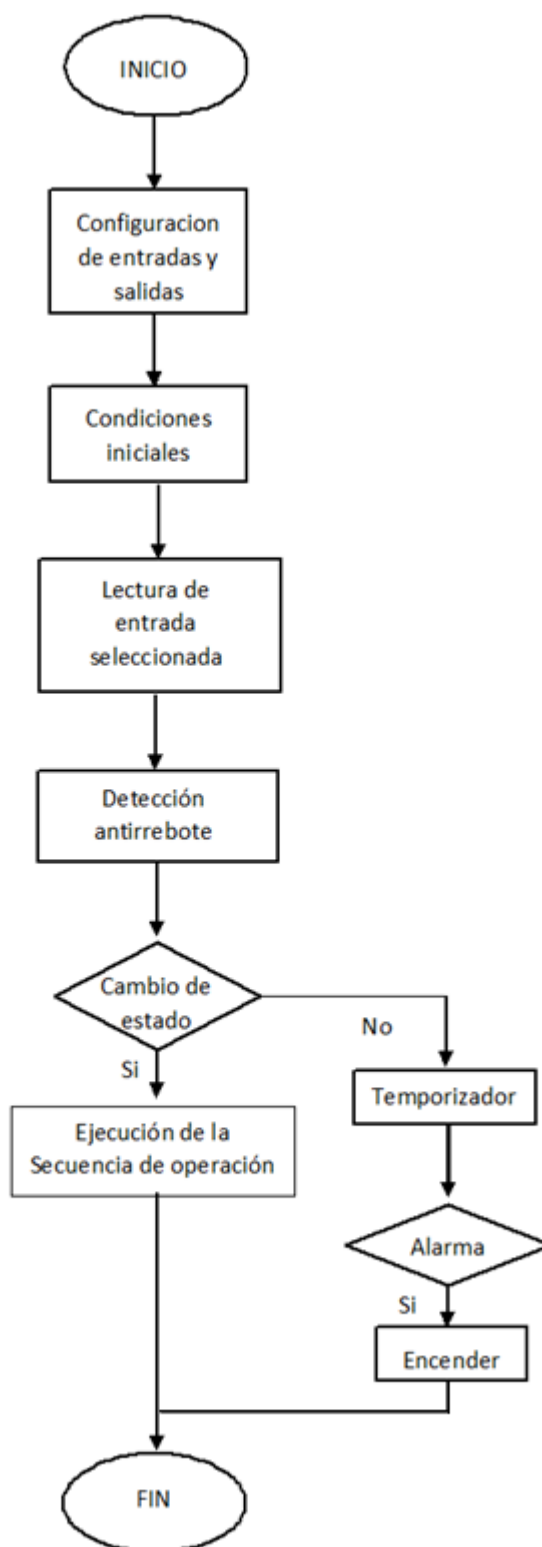


Figura 32. Diagrama de flujo del funcionamiento del TSM

Fuente: Autor

2.4.3 Método de criterios ponderados

Tabla 3. Alternativas de controladores

Simbología	Alternativa
Dispositivo A	Controlador PLC
Dispositivo B	Controlador Arduino

Fuente: Autor

Existen varios criterios, pero los más importantes son:

- Funcionalidad
- Versatilidad
- Precio

Valoración del peso específico de los criterios.

Precio > Funcionalidad = Accesibilidad

Uno de los pasos de criterios ponderados es la evaluación y asignación de pesos a los factores como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 4. Asignación de pesos a los criterios

Criterio	Funcionalidad	Accesibilidad	Precio	$\Sigma + 1$	Ponderación
Funcionalidad		0,5	0	1,5	0,25
Accesibilidad	0,5		0	1,5	0,25
Precio	1	1		3	0,5
	Total			6	1

Fuente: Autor

Una vez realizada la evaluación del peso específico de cada criterio se procede con la evaluación de los pesos específicos de los criterios con respecto a las dos alternativas, como se muestra en las siguientes tablas.

Dispositivo B > Dispositivo A

Tabla 5. Evaluación del peso específico del criterio funcionalidad

Funcionalidad	Dispositivo A	Dispositivo B	$\sum + 1$	Ponderación
Dispositivo A		0,5	1,5	0,5
Dispositivo B	0,5		1,5	0,5
	Total		3	1

Fuente: Autor

Tabla 6. Evaluación del peso específico del criterio accesibilidad

Accesibilidad	Dispositivo A	Dispositivo B	$\sum + 1$	Ponderación
Dispositivo A		0	1	0,33
Dispositivo B	1		2	0,67
	Total		3	1

Fuente: Autor

Tabla 7. Evaluación del peso específico del criterio precio

Precio	Dispositivo A	Dispositivo B	$\sum + 1$	Ponderación
Dispositivo A		0	1	0,33
Dispositivo B	1		2	0,67
	Total		3	1

Fuente: Autor

Tabla 8. Evaluación de prioridad

Conclusión	Funcionalidad	Versatilidad	Precio	\sum	Prioridad
Dispositivo A	$0,25 \times 0,5$	$0,25 \times 0,33$	$0,5 \times 0,33$	0,150	2
Dispositivo B	$0,25 \times 0,5$	$0,25 \times 0,67$	$0,5 \times 0,67$	0,363	1

Fuente: Autor

Luego de realizar el método de criterios ponderados y de acuerdo a la tabla anterior se observa que el dispositivo B que corresponde al controlador Arduino se adapta a las condiciones y necesidades planteadas para la ejecución del módulo a implementar.

2.5 Diseño del tablero de simulación de maniobras

En el diseño del tablero de simulación de maniobras se consideró la medida de cada elemento presente dentro y fuera del tablero para una distribución adecuada y ordenada. El diseño se realizó en el programa SolidWorks y Sketch Up tomando en cuenta el diagrama de la subestación.

2.5.1 Construcción del tablero

El tamaño del tablero fue de acuerdo a la distribución de elementos en la parte frontal y a las medidas registradas en la norma INEN (Anexo D: Medida de tableros según la norma INEN), como se muestra en la Figura 33.

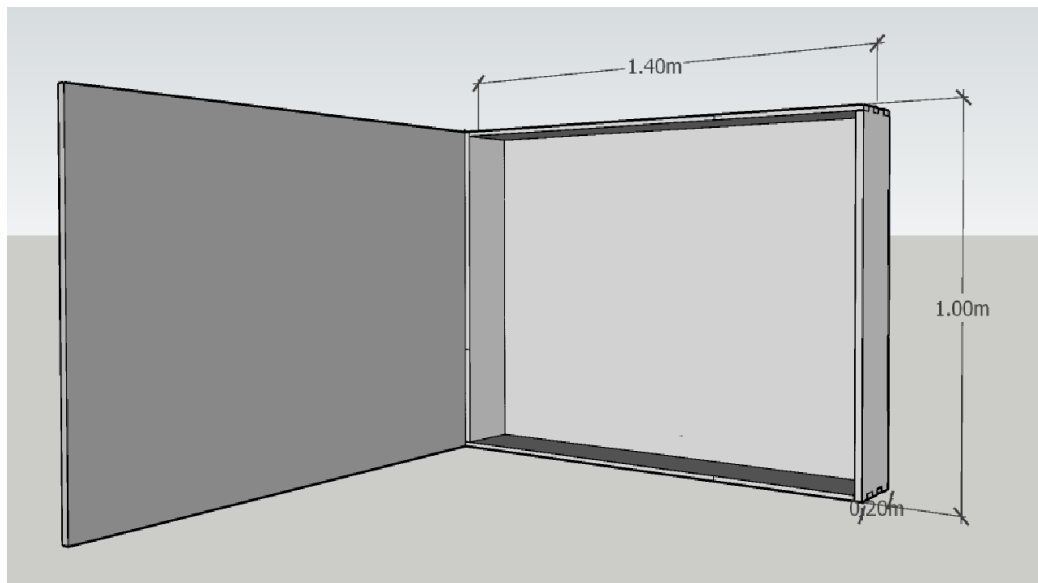


Figura 33. Construcción del tablero

Fuente: Autor

2.5.2 Posición de canaletas

Los espacios entre cada canaleta se diseñaron considerando el tamaño de la lámina acrílica y de los elementos presentes dentro del tablero. Como muestra la Figura 34 el diseño se realizó en Sketch Up.

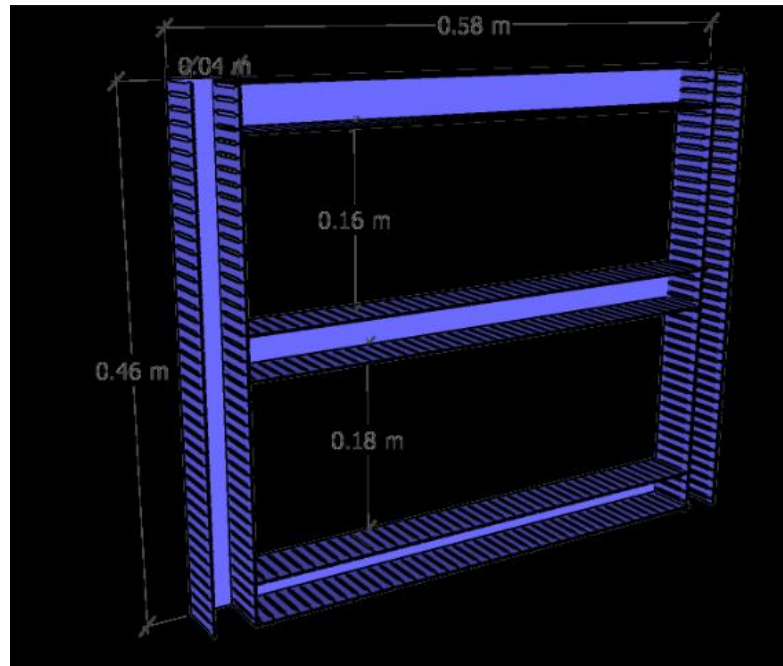


Figura 34. Medidas canaletas

Fuente: Autor

2.5.3 Posición de los elementos

Una vez ubicadas las canaletas se realizó el diseño del montaje de los elementos de protección y control que se instalarán dentro del tablero, como se muestra en la Figura 35.

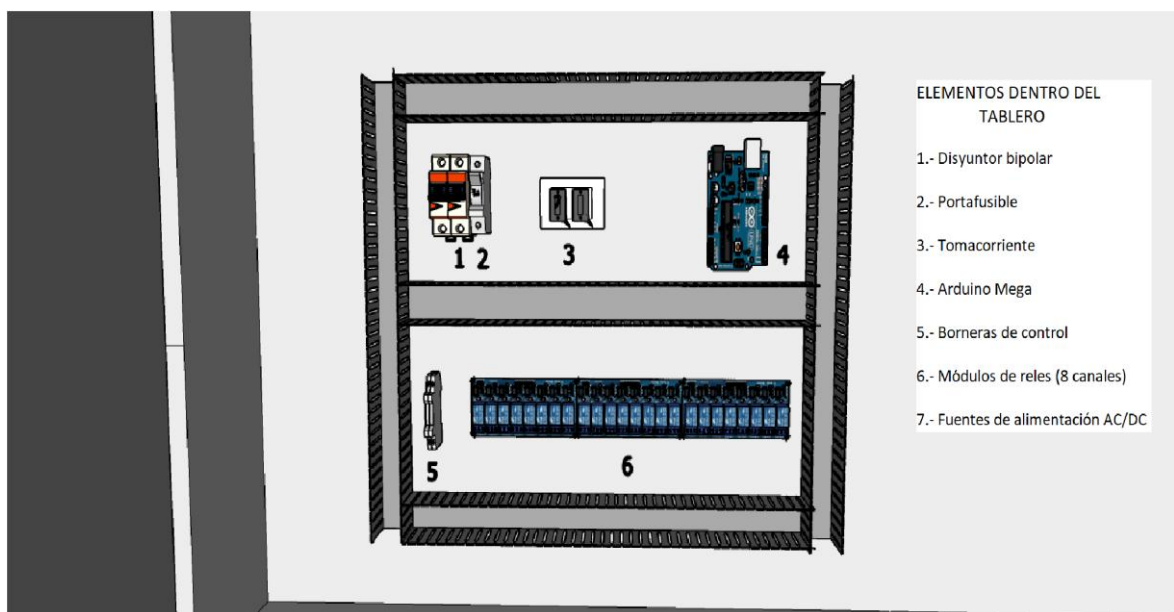


Figura 35. Diseño montaje de elementos

Fuente: Autor

Para el diseño de la parte frontal del tablero se consideró las medidas de los dispositivos de accionamiento y visualización que son luces indicadoras y selectores, como se puede observar en la Figura 36.

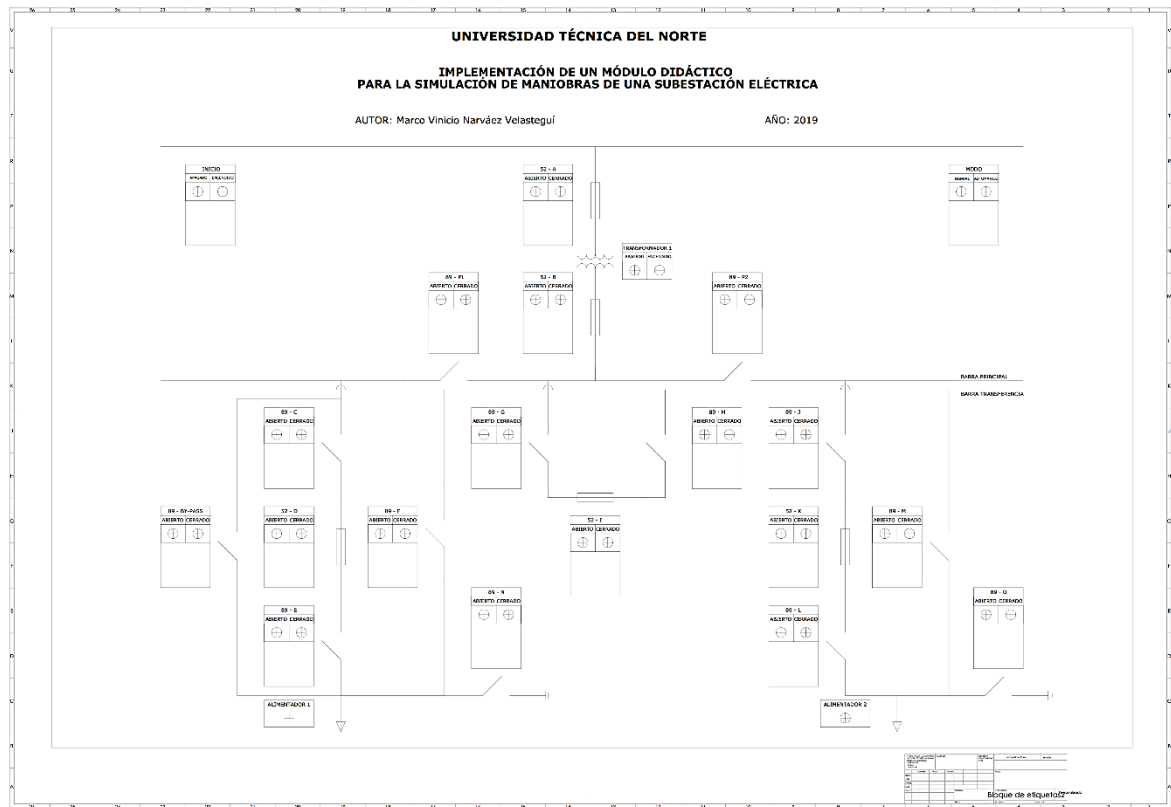


Figura 36. Esquema frontal del tablero

Fuente: Autor

2.6 Montaje del tablero de simulación de maniobras

2.6.1 Mantenimiento al tablero

Una vez construido el tablero se procedió a pintarlo en un horno para obtener el grado de resistencia mecánico mínimo de IK igual a 05, lo cual será resistente al impacto con choques mecánicos. Además, al no estar a la intemperie tiene un índice de protección IP – 45 que se refiere a la protección ante objetos con diámetro superior a 1mm y protección ante salpicaduras de agua, como se observa en la Figura 37.



Figura 37. Mantenimiento del tablero

Fuente: Autor

2.6.2 Montaje de elementos

A continuación, se demostrará las etapas que se realizó durante el montaje del proyecto y los resultados que se obtuvieron con la implementación.

2.6.2.1 *Diagrama de control en la plataforma Proteus*

En la Figura 38 se muestra la creación del diagrama de conexiones de la parte de control y protección eléctrica del tablero de simulación de maniobras se procedió a ejecutar las conexiones de accionamiento de selectores y luces indicadoras para los dos modos de funcionamiento.

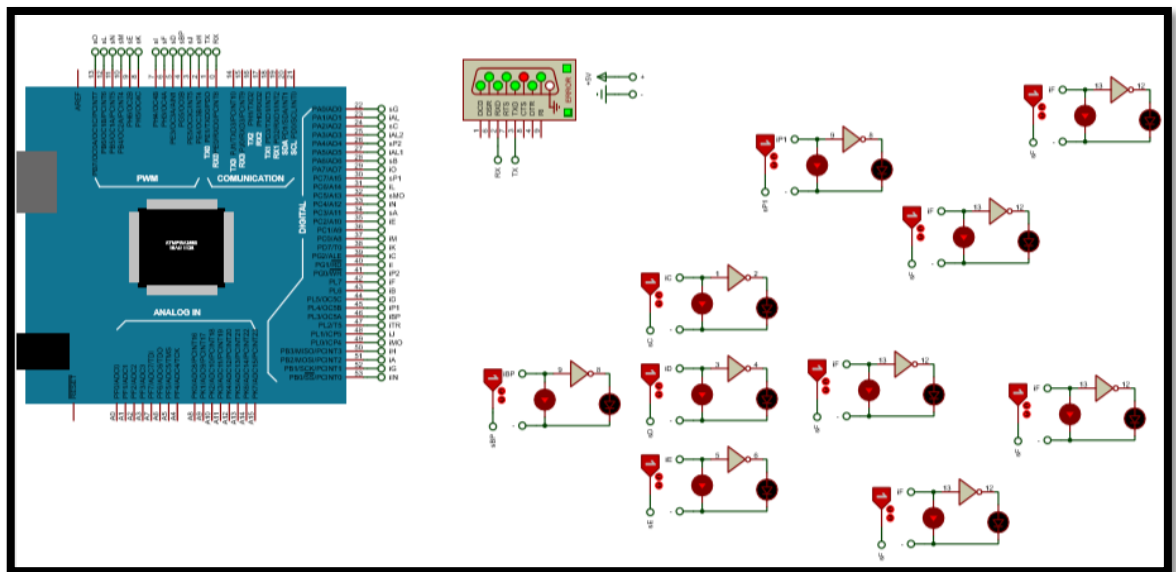


Figura 38. Accionamientos de relés para la activación de luces indicadoras

Fuente: Autor

2.6.2.2 Perforación para ubicación de elementos

Una vez pegada la lámina de vinilo del diseño de la posición de selectores y luces indicadoras en la parte frontal del tablero, se procede a perforar en la parte central de cada cuadro para colocar los dispositivos (Figura 39).



Figura 39. Perforación para los elementos de control

Fuente: Autor

Con el diseño de la posición de canaletas se realiza la perforación en la lámina acrílica de 60 x 50 cm que se utilizó para evitar el contacto directo del controlador y módulo de relés con la parte metálica del tablero, como muestra la Figura 40.



Figura 40. Perforación para canaletas

Fuente: Autor

Luego de ubicar las canaletas dentro del tablero se coloca los cables de conexión de selectores y luces indicadoras dentro de las canaletas para organizar las conexiones con los dispositivos de control (Figura 41).

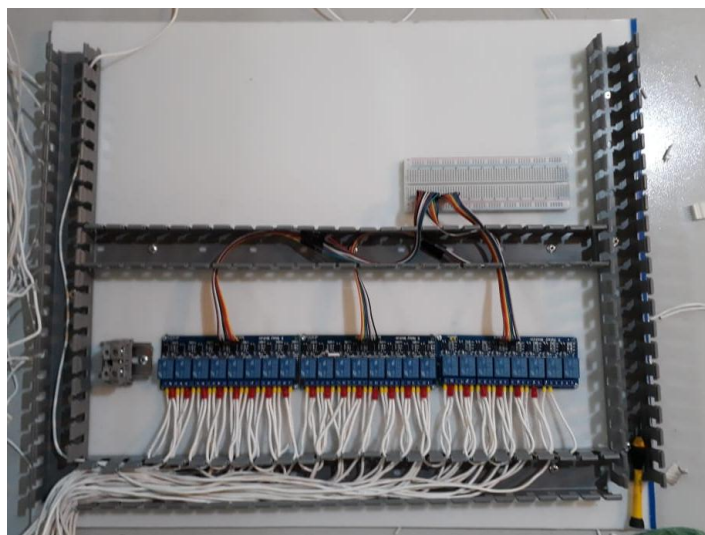


Figura 41. Posición de las canaletas

Fuente: Autor

2.6.2.3 Conexión de elementos

En la Figura 42 se muestra que una vez ubicados los elementos se realizó las conexiones de cada elemento con cable flexible 18 AWG, además se procedió al ponchado de terminales para conectar los elementos. Para la organización y sujeción del cableado se utilizó el tubo flexible en espiral de 1/2" y 5/8".



Figura 42. Colocación del tubo flexible espiral

Fuente: Autor

2.6.2.4 Montaje de elementos de protección y control

Una vez realizado el enrutamiento y protección del cableado por las canaletas se procede al montaje de elementos de protección, control y fuente de alimentación que son: módulos de relés, breaker, portafusible, Arduino Mega y tomacorriente, teniendo en cuenta el diseño de posición de elementos de la Figura 43.



Figura 43. Montaje de elementos

Fuente: Autor

De igual manera en la Figura 44, se hace el montaje y conexión de los elementos de protección que serán capaces de interrumpir o abrir el circuito eléctrico instalado en el tablero de control cuando su intensidad excede el valor predeterminado.



Figura 44. Colocación de cableado dentro de las canaletas.

Fuente: Autor

Además, se realizó el cálculo de la intensidad de sobrecarga de acuerdo a lo que recomienda el proveedor, un dimensionamiento del 125% de la carga a proteger.

Tabla 9. Características luces indicadoras

Luces indicadoras	Características
Tipo	Camsco
Tensión	120 - 240 V
Color	Rojo, Verde, Azul
Capacidad de corriente	0,04 – 0,02 A

Fuente: Catálogo de Amazon

La ecuación de intensidad de sobrecarga será la siguiente:

$$\begin{aligned} I &= 1,25 \times I_{Luces} && \text{Ec.1} \\ I &= 1,25 \times (44 \times 0,04) \\ I &= 3,01 \text{ A} \end{aligned}$$

Además, se construyó una placa de acuerdo al diagrama PCB de entradas, salidas de los selectores y luces indicadoras. Se posicionó las fuentes de voltaje que transforman el voltaje AC a DC, la primera fuente de 5V – 3A, se utilizó para el accionamiento de los módulos de relés de 8 canales y la segunda fuente de 12V – 1A, se dispuso para la fuente de alimentación del Arduino Mega.

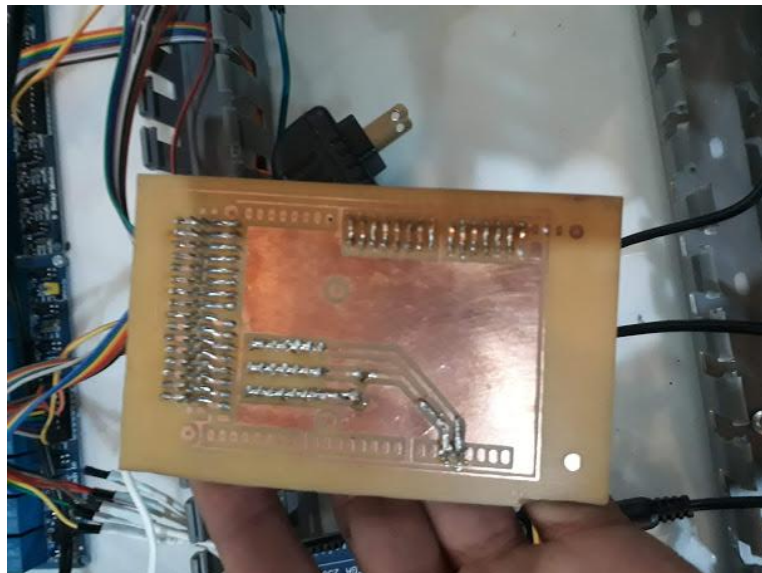


Figura 45. Conexión de pines de entradas y salidas del Arduino Mega

Fuente: Autor

Se colocó las borneras de control para conectar la fuente de alimentación externa de 120V para el funcionamiento del TSM (tablero de simulación de maniobras), como se observa en la Figura 46.

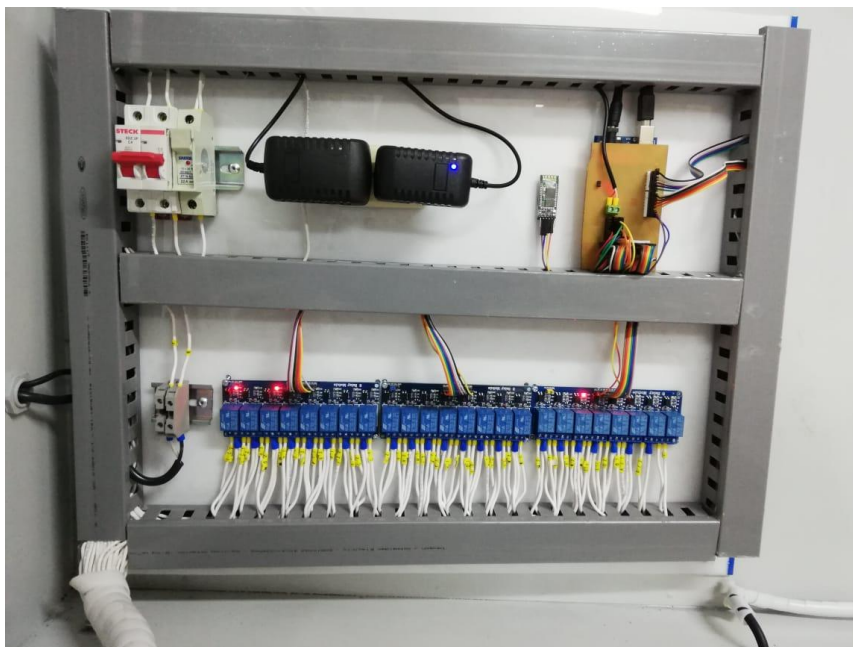


Figura 46. Vista interna de la instalación del TSM

Fuente: Autor

2.7 Programación en Arduino

Para la programación del funcionamiento del tablero de simulación de maniobras se utilizó el software Arduino. Para iniciar con la programación se crea un nuevo proyecto, el cual permitirá condicionar mediante código el funcionamiento correcto del proceso de maniobras de una subestación eléctrica.

2.7.1 Interfaz de comunicación Arduino – LabVIEW

Para realizar la comunicación entre el software LabVIEW y el controlador Arduino se debe considerar con los siguientes programas y elementos:

- Placa Arduino
- Software Arduino
- Software LabVIEW
- VI Package Manager

Con los elementos anteriormente mencionados se efectuó los pasos para crear la interfaz entre LabVIEW y Arduino.

El primer programa que se ejecuta es VI Package Manager el cual permite descargar librerías y algunos toolkits para LabVIEW, en la Figura 47 se muestra las características del software.



Figura 47. Programa VI Package Manager

Fuente: Autor

Se despliega un listado en el cual es necesario designar la versión de LabVIEW que se va utilizar, como se observa en la Figura 48 en este caso la versión 2014.

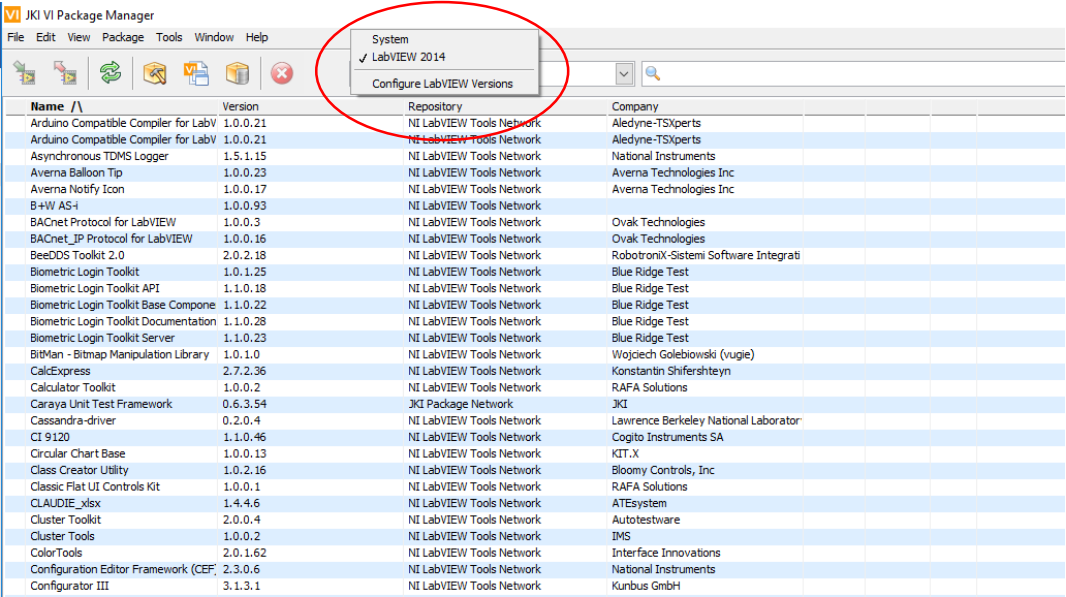


Figura 48. Configuraciones en VI Package Manager

Fuente: Autor

Con ayuda del buscador se digita la palabra Arduino y se elige la opción “LabVIEW Interfaz para Arduino”, como se muestra en la Figura 49.

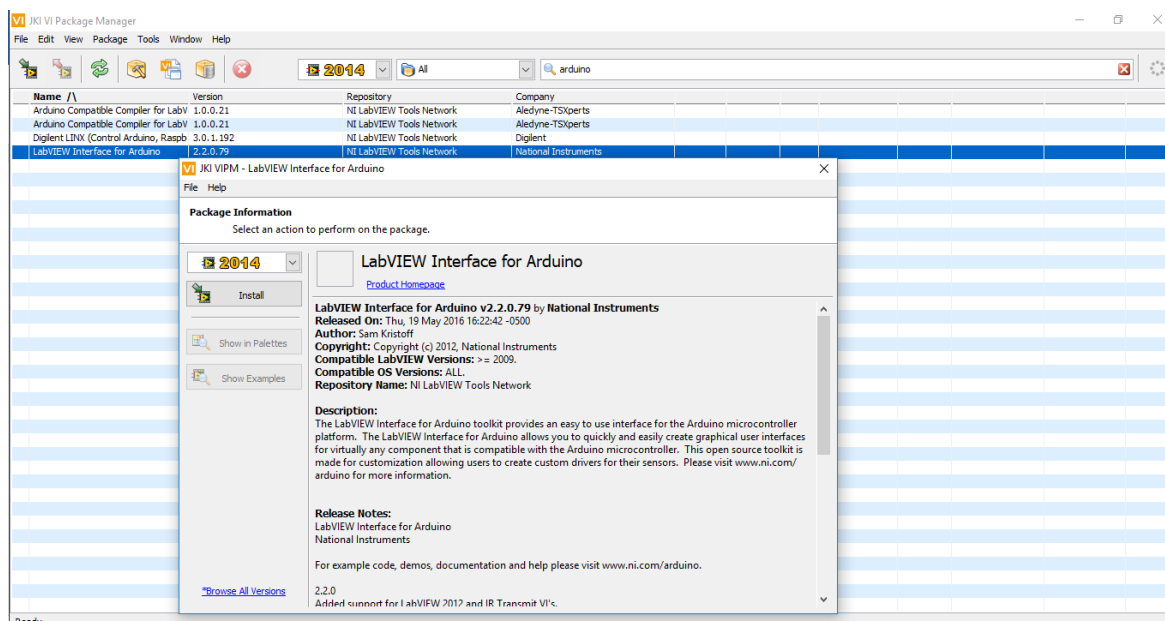


Figura 49. Instalación LabVIEW Interfaz para Arduino

Fuente: Autor

2.7.1.1 Comunicación serial Arduino – LabVIEW

En la Figura 50, se realizó una interfaz de control del modo de funcionamiento remoto en LabVIEW que permita el envío de datos al controlador Arduino, pues el controlador es el maestro y el software LabVIEW el esclavo, esta disposición facilita el control local y las acciones se ejecutarán de acuerdo al mensaje o señal recibida.

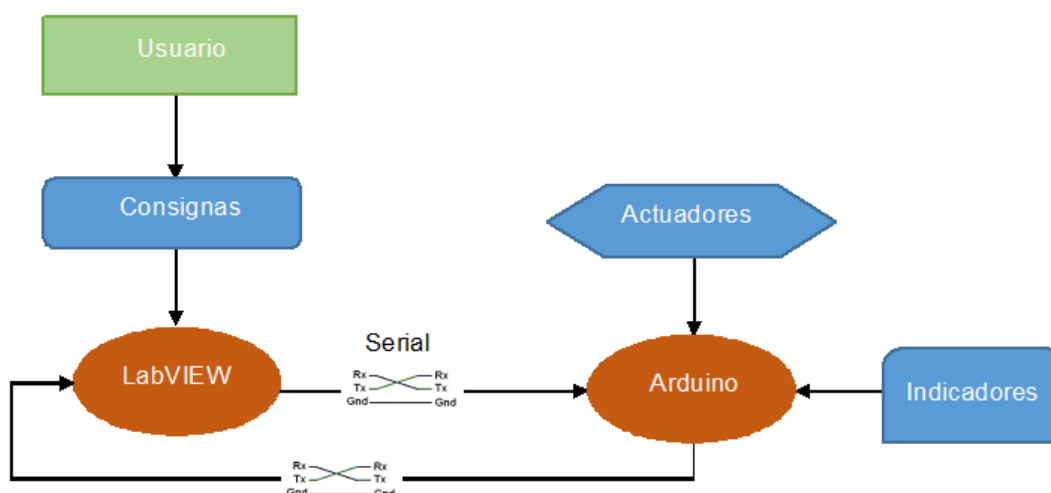


Figura 50. Comunicación Serial Arduino – LabVIEW

Fuente: Autor

En la siguiente Figura 51, se muestra una parte de la programación en Arduino en la cual se encuentra las líneas de código de comunicación serial, abre su puerto serial especificando su velocidad de 9600 bps e imprime los datos para la lectura y escritura.



```

Arduino 1.8.7
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Maniobras_033

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  /*Envío serial: posición que ha cambiado de estado*/
  Serial.print("a01");
  if (pin < 10)
    Serial.print('0');
  Serial.print(pin);
  Serial.print(state);
  /******
L

```

Figura 51. Comunicación serial en Arduino
Fuente: Autor

2.7.2 Selección de entradas y salidas

Para comenzar a escribir líneas de código es importante conocer los pines de entradas, salidas de selectores y luces indicadoras, como se detalla en las siguientes tablas. Además, el número de cada pin se pueden visualizar en la placa del controlador Arduino Mega y las letras pertenecientes a cada pin se encuentran distribuidas en la parte frontal del tablero de simulación de maniobras.

Tabla 10. Entrada Selectores		
I	P	C
00	34	A
18	32	Modo
		Funcionamiento
16	30	P1

i: posición vector
P: pin de lectura
C: código

Fuente: Autor

Tabla 11. (Luces)	01	28	B	Salidas Relés P: pin de lectura C: código			
	17	26	P2				
	02	25	C				
	06	P	C		G		
	07	51	02		A	H	
	09	43	03		B	J	
	15	39	04		C	By – Pass	
	03	44	05		D	D	
	05	35	06		E	F	
	08	42	07		F	I	
	10	52	08		G	K	
	04	50	09		H	E	
	12	40	10		I	M	
	13	48	11		J	N	
Fuente: En la observa que fueron iniciar con la programación del sistema los pines de cada subestación en un array o	11	38	12	K	L	Figura 52, se las tablas usadas para	
	14	31	13	L	O		
	37			M			
	33			N			de maniobras se definen
	29			O			elemento de la
	46			By- Pass			conjunto de valores.
	45			P1			
	41			P2			
	27			Alim. 1			
	25			Alim. 2			
	53			Inicio			
	49			Modo			
				Funcionamiento			
	47			Transformador			

```

Maniobras_033$
#include <TimerOne.h>

/*      A  B  C  D  E  F  G  H  I  J  K  L  M  N  O  BP  P1  P2  MO  AL1 AL2  IN  TR  ALM*/
byte pin_wr[24] = {51, 43, 39, 44, 35, 42, 52, 50, 40, 48, 38, 31, 37, 33, 29, 46, 45, 41, 49, 25, 27, 53, 47, 23};

/*      00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18
/*      A  B  C  D  E  F  G  H  I  J  K  L  M  N  O  BP  P1  P2  MO*/
byte pin_rd[19] = {34, 28, 24, 5, 9, 6, 22, 2, 7, 3, 8, 12, 10, 11, 13, 4, 30, 26, 32};

boolean condicion_inicial[24] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0};

```

Figura 52. Pines de entradas y salidas

Fuente: Autor

2.7.3 Secuencias de operación

Las secuencias de operación de los elementos de corte y mando se efectuaron considerando las características de conexión y desconexión de interruptores de potencia, seccionadores, seccionadores de puesta a tierra, desventajas y ventajas de las configuraciones de barra simple, barra simple con by-pass, barra partida, barra de transferencia.

Tabla 12. Alimentador 1 (Principal)

0	Secuencia 1	A – B – P1 – N – By Pass
1	Secuencia 2	A – B – P 1 – N – C – E -D

Fuente: Autor

Tabla 13. Alimentador 1 (Transferencia)

2	Secuencia 4	A – B – G – H – I – N - F
---	-------------	---------------------------

Fuente: Autor

Tabla 14. Alimentador 2 (Principal)

3	Secuencia 3	A – B – P2 – O – J – L - K
---	-------------	----------------------------

Fuente: Autor

Tabla 15. Alimentador 2 (Transferencia)

4	Secuencia 5	A – B – G – H – I – O - M
---	-------------	---------------------------

Fuente: Autor

Con las tablas anteriores se realizó una matriz con las respectivas secuencias de operación para que el sistema de simulación de maniobras funcione correctamente, por último, se creó otra matriz para las condiciones iniciales al momento de encender el tablero de simulación de maniobras, como se muestra en la Figura 53.

```

Maniobras_033 Arduino 1.8.7
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Maniobras_033 $

byte Maniobras[5][8] =
{
  99, 15, 99, 99, 99, 99, 99, 99,
  99, 0, 1, 16, 13, 2, 4, 3,
  99, 0, 1, 17, 14, 9, 11, 10,
  99, 0, 1, 6, 7, 13, 5, 8,
  99, 0, 1, 6, 7, 14, 12, 8
};

byte Estados[5][8] =
{
  0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0,
  0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0,
  0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0,
  0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0,
  0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0
};

byte contSes[5] = {1, 1, 1, 1, 1};
byte contSeM[5] = {2, 8, 8, 8, 8};

boolean Alimentadores[2] = {1, 1};
byte Neutros[2] = {0, 0};
byte Neutro[5] = {0, 0, 0, 0, 0};
byte Saltos[5] = {5, 5, 5, 6, 6};
boolean modo = 1; /* 0 = Automático 1 = Manual */

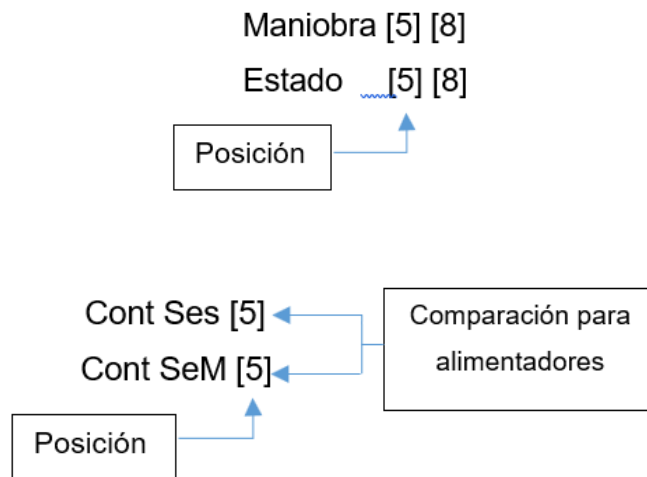
/*Variables de lectura de interruptores*/

```

Figura 53. Matriz de secuencias de operación y condiciones iniciales

Fuente: Autor

2.7.4 Condiciones para invertir secuencias



- Detectar el flanco de cambio en cada selector con el vector Estado.
- Si es igual a la posición actual de las Maniobras.
- Si es diferente a la posición anterior de las Maniobras.

Mediante la creación de vectores para cada secuencia se genera una matriz de secuencias que reducen el código de programación, además cualquier proceso de maniobras puede activarse en cualquier etapa de funcionamiento del TSM (Tablero de Simulación de Maniobras).

Se realizó la configuración para unir todas las maniobras para que funcionen al mismo tiempo (Ciclo FOR, las soluciones se unen con el operador lógico OR(II)). La aplicación de un ciclo y la unión de resultados para la activación de los alimentadores, además LabVIEW debe recibir las maniobras que se ejecutan en el TSM (Figura 54).



```

Maniobras_033
/* Configuración de pines digitales*/
for (byte i = 0; i < 24; i++)
  pinMode(pin_wr[i], OUTPUT);
for (byte i = 0; i < 19; i++)
  pinMode(pin_rd[i], INPUT_PULLUP);

/* Condiciones iniciales de sistema*/
for (byte i = 0; i < 24; i++)
{
  digitalWrite(pin_wr[i], 1 - condicion_inicial[i]);
  delay(1);
}
/*Configuración puertos analógicos*/
analogReference(INTERNAL1V1);

delay(500);
digitalWrite(49, 1); //Modo de funcionamiento

digitalWrite(53, 0);
/* Configuración de temporizador*/
Timer1.initialize(1000);
Timer1.attachInterrupt(timerIsr);
}

for (byte k = 1; k < 18; k++)
{
  digitalWrite(pin_wr[k], 1 - condicion_inicial[k]);

  Serial.print("a01");
  if (k < 10)
    Serial.print('0');
  Serial.print(k);
  Serial.print(1 - condicion_inicial[k]);
}
digitalWrite(46, 1);

lse // Manejo de maniobras (En ambos sentidos)
- switch (posicion)
{
  case 0: //Manejo Bypass
    if (contSes[1] == 8)
    {
      if (Maniobras[posicion][contSes[posicion]] == pin && Estados[posicion][contSes[posicion]] == state) //Activación de maniobras
      {
        contSes[posicion]++;
        cabioManiobrasS(posicion, pin, state);
      }
    }
    else if ((Maniobras[posicion][contSes[posicion] - 1] == pin) && (Estados[posicion][contSes[posicion] - 1] != state) )
    {
      contSes[posicion] -= 1;
      cabioManiobrasS(posicion, pin, state);
    }
  }
}

```

Figura 54. Ciclo FOR en la programación Arduino

Fuente: Autor

Se trabajó con conteos y banderas comunes para poder visualizar en qué etapa se encuentra el sistema y poder acceder a cualquier secuencia en todo momento, lo cual ayuda a evitar que la programación tenga una secuencia invertida para la desconexión.

Con los comandos if, else if, switch y case se controla el flujo del programa para que una variable de control sea sometida a diversas condiciones. Como se muestra en la Figura 55, se compara el valor de una variable con los valores predeterminados en cada caso, si en la comparación coinciden los valores se efectúa el código dentro del caso correspondiente.

```

Maniobras_033
else // Manejo de maniobras (En ambos sentidos)
{
    switch (posicion)
    {
        case 0: //Manejo ByPass
            if (contSes[1] == 8)
            {
                if (Maniobras[posicion][contSes[posicion]] == pin && Estados[posicion][contSes[posicion]] == buttonState[pin]) //Activación de maniobras
                {
                    contSes[posicion]++;
                    cabioManiobras(posicion, pin);
                }
                else if ((Maniobras[posicion][contSes[posicion] - 1] == pin) && (Estados[posicion][contSes[posicion] - 1] != buttonState[pin]))
                {
                    contSes[posicion] -= 1;
                    cabioManiobras(posicion, pin);
                }
            }
            if (contSes[3] == 8)
            {
                if ((Maniobras[posicion][contSes[posicion] - 1] == pin) && (Estados[posicion][contSes[posicion] - 1] != buttonState[pin]))
                {
                    contSes[posicion] -= 1;
                    cabioManiobras(posicion, pin);
                }
            }
            break;
    }
}

```

Figura 55. Sentencias para la ejecución de maniobras

Fuente: Autor

2.7.5 Condiciones para desconectar los seccionadores de puesta a tierra

Las condiciones que se programan con respecto a la activación y desactivación de los seccionadores de puesta tierra son mediante las características de funcionamiento de los mismos por lo cual se condiciona que para evitar errores de operación, la puesta a tierra se conecta a las líneas de llegada (alimentadores) cuando están desenergizadas.

Para la programación se inició con las secuencias 2 y 4 que se ejecutan para la activación y desactivación del Alimentador 2, secuencias mencionadas en las tablas anteriores.

- Unir los resultados para el Alimentador 1.
- Unir los resultados para desconexión de los interruptores A y B.
- Si alguna de las maniobras ya activó el seccionador de puesta a tierra se puede saltar ese paso.
- El sistema se afectará cuando ambas secuencias están en la etapa correcta para la activación de la puesta a tierra.

Tabla 16. Condiciones desconexión puesta a tierra Alimentador 2

Secuencia	1	2	3	4	5	6	7
2	A	B	P2	O	J	L	K
4	A	B	G	H	O	M	I

Fuente: Autor

- La función de la puesta a tierra se actualiza en cada iteración de manera secuencial.
- Se analizó el punto en donde ambas secuencias activen o desactiven la puesta a tierra.
- Cuando encendemos el tablero de simulación de maniobras se condiciona la activación de la puesta a tierra (Figura 56).

Tabla 17. Condiciones iniciales del contador

Seq	contSeS	Puesta a tierra (Neutro)
2	≤ 4	0
	≥ 4	1
4	≤ 5	0
	≥ 5	1

Fuente: Autor

- 0 se puede desactivar el contador.
- 1 se puede activar el indicador.
- 2 solo puede pasar a 1.
- 1 se puede hacer salto en la secuencia de activación.
- 2 se puede hacer salto de secuencia en la desactivación.
- El cambio de estado en la luz del seccionador de puesta a tierra solo se realiza si su conteo es < 2 .

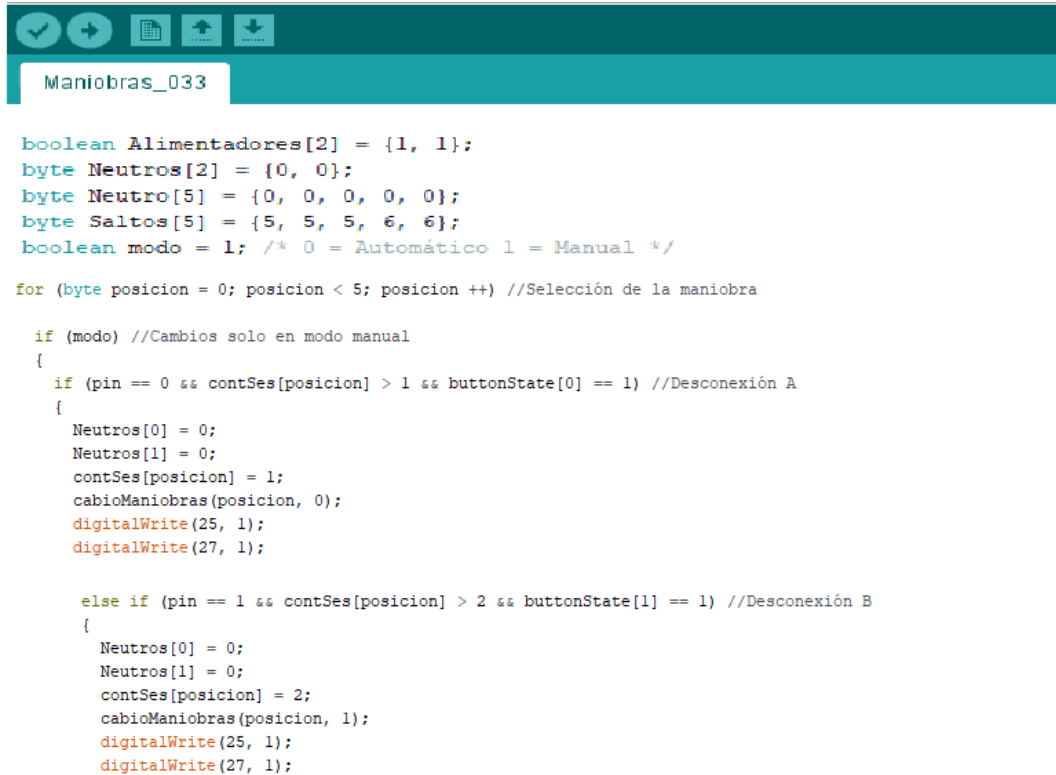


Figura 56. Condiciones para maniobrar el seccionador de puesta a tierra

Fuente: Autor

A continuación, la tabla muestra el funcionamiento del contador para la desactivación del seccionador de puesta tierra y no interfiere en las secuencias de operación.

Tabla 18. Contador de saltos para seccionador de puesta tierra

Puesta a Tierra (Neutros)	Secuencia	ContSeS (i)	(i+ 1)
1	2	3	5
1	4	4	6
2	2	5	3
2	4	6	4

Fuente: Autor

- La comparación de desconexión debe ser saltando en una posición en el caso que la puesta a tierra se encuentre en 2.
- La comparación debe realizarse con una bandera en la detección del interruptor.

- Puesta a tierra debe comparar la posición para habilitarse, caso contrario siempre saltaría en 2.
- Se necesita un vector que contenga las posiciones de los saltos para la desconexión.

2.7.6 Condiciones para los interruptores A y B.

Se comparó la desconexión de los interruptores A y B en caso que se encuentren fuera de secuencia y permitan desconectar las demás salidas.

Tabla 19. Condiciones interruptor A y B

Interruptor	Pin	Estado
A	0	0
B	1	0

} Detección en flanco positivo

Fuente: Autor

La desactivación de todas las salidas se realiza de forma temporizada. Además, puede desactivar desde la última secuencia activa, como se muestra en la Figura 57.

```
Maniobras_033
{
  if (pin == 0 && contSes[posicion] > 1 && state == 1) //Desconexión A
  {
    Neutros[0] = 0;
    Neutros[1] = 0;
    contSes[posicion] = 1;
    cabioManiobrasS(posicion, pin, state);
    digitalWrite(25, 1);
    digitalWrite(27, 1);
    /* for (byte i = 7; i > 0; i--)
    {
      //delay(20);
    }*/
    for (byte k = 0; k < 18; k++)
    {
      digitalWrite(pin_wr[k], 1 - condicion_inicial[k]);

      Serial.print("a01");
      if (k < 10)
        Serial.print('0');
      Serial.print(k);
      Serial.print(1 - condicion_inicial[k]);
    }
    digitalWrite(46, 1);
  }
}
```

Figura 57. Ciclo FOR y sentencia if para desactivación total de la subestación

Fuente: Autor

2.8 SCADA en LabVIEW

2.8.1 Diseño de arquitectura del SCADA

El sistema SCADA tiene un ordenador MTU (Unidad Terminal Maestra), la misma que permitirá la administración de información que brinda RTU (Unidad Terminal Remota), su comunicación se efectúa mediante la comunicación serial USB (Universal Serial Bus) con una topología punto a punto.



Figura 58. Arquitectura SCADA

Fuente: Autor

2.8.2 Selección software SCADA

Para realizar la selección del software se tomó en cuenta el número de variables inmersas dentro del proyecto, la comunicación, las herramientas de programación y el presupuesto que demandaría cada software.

Por lo cual se desarrolló una tabla comparativa para poder apreciar las diferencias de los softwares considerados eficientes para el desarrollo del proyecto.

Tabla 20. Comparación de Softwares SCADA

SOFTWARE DESCRIPCIÓN	TeslaMulti SCADA	PROMOTIC	LabVIEW
VARIABLES	Tamaño máximo 16 variables	Tamaño máximo 30 variables	Sin limites
IDIOMA	Inglés	Inglés	Idioma predeterminado inglés, pero se puede cambiar a español.
LICENCIA	Limitada	Limitada	Tiene libre acceso a todo su sistema
DISPOSITIVOS COMPATIBLES	S7-400. S7-300 ControlLogix. CompactLogix. Micrologix SLC500	PLC más conocidos	Arduino PLC más conocidos
USO ESTUDIANTIL	No cuenta con el RunTime	Se puede ejecutar sin licencia durante 60 días.	Se puede ejecutar sin licencia, pero si es necesario la licencia, puede facilitar la Universidad Técnica del Norte.

Fuente: Autor

El software SCADA LabVIEW fue la mejor opción, debido a que se lo descarga de manera gratuita desde su sitio web (National Instruments), lo cual minimiza gastos en la ejecución del proyecto. Además, es compatible con el controlador seleccionado, no existe restricciones en la declaración de variables y es importante mencionar que posee un excelente tiempo de ejecución en cualquier sistema operativo.

2.8.3 Diseño del HMI (Interfaz Hombre - Maquina)

La interfaz entre el proceso de control de maniobras de una subestación eléctrica y los operarios es el panel de instrumentos que pueden ser controlados y visualizados por los operarios en tiempo real, lo cual permite al operario o usuario interactuar con el sistema SCADA. La versatilidad del software LabVIEW facilita el diseño de paneles de control flexibles, los cuales tienen alarmas, información, datos, pantallas personalizadas y símbolos e imágenes que se colocan para controlar el proceso.

Para el diseño de las pantallas de la HMI del sistema SCADA se consideró la Norma ISO 9241 que es fundamental para el diseño ergonómico en lugares que utilizan equipos con pantallas de visualización de datos.

Además, el diseño del HMI se realizó de acuerdo a las funciones que debe cumplir en un proceso. A continuación, se detalla.

- a) Monitoreo: Es obtener y mostrar datos del proceso de simulación de maniobras en tiempo real, esta información puede ser numérica, gráfica y textual, que permitan una visualización clara para interpretar.
- b) Supervisión: Conjuntamente con el monitoreo es posible ajustar parámetros y condiciones de trabajo del proceso.
- c) Alarmas: Tienen la función de reconocer eventos que afecten al proceso para mostrar al operario.
- d) Control: Permite realizar algoritmos que ajustan valores y estados de elementos del proceso.

2.8.4 Descripción del sistema desarrollado en el software LabVIEW

2.8.4.1 Comunicación serial

Para la configuración del puerto serial se lo realizó mediante el módulo de VISA que es el controlador para la comunicación serial mediante USB con la computadora, como se observa en la Figura 59.

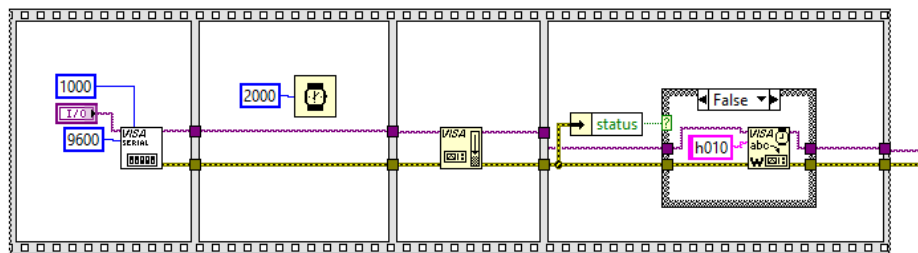


Figura 59. Activación del puerto serial

Fuente: Autor

2.8.4.2 Adquisición de datos

En esta parte de la programación se efectúa la lectura y escritura de señales digitales, pin y estado de cada elemento (Figura 60).

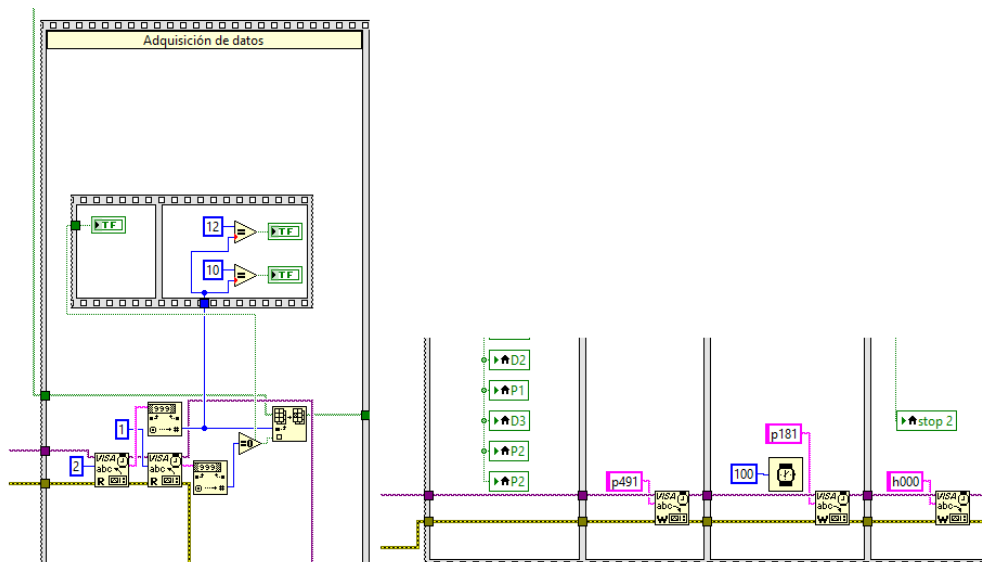


Figura 60. Adquisición de datos

Fuente: Autor

2.8.4.3 Visualización de controles

Para poder visualizar cada control se utilizó un array cluster que permite la colección de datos de un mismo tipo y de manera ordenada, además utilizando el cluster unbundle ayuda a separar cada elemento (Figura 61).

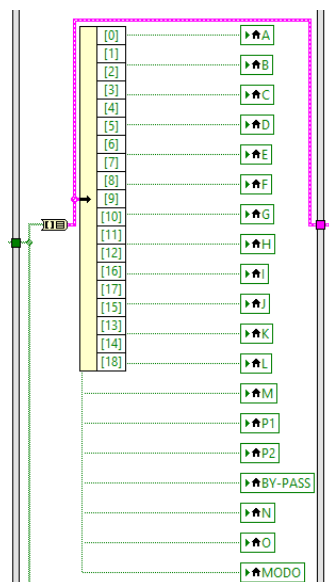


Figura 61. Array cluster para la visualización de controles

Fuente: Autor

2.8.4.4 Visualización de cables

Se creó una animación para visualizar en el panel frontal la conexión y desconexión en cada línea que une a los diferentes elementos de la subestación, lo cual debe asociarse con la adquisición de datos.

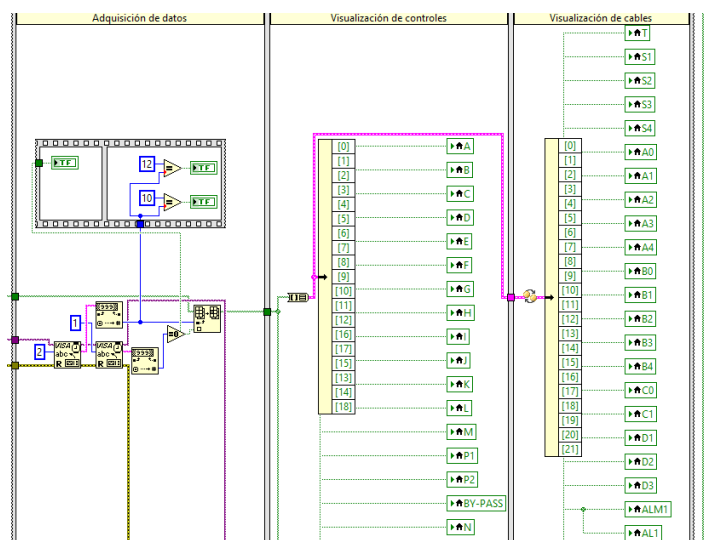


Figura 62. Visualización de cables

Fuente: Autor

2.8.4.5 Cierre de puerto

En esta figura se muestra como inicia el envío de datos por el puerto serial y su cierre de puerto serial para evitar una incorrecta lectura y escritura de datos.

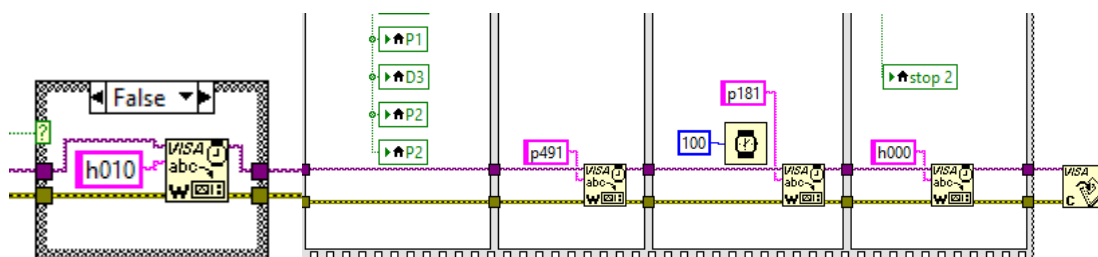


Figura 63. Cierre de puerto serial

Fuente: Autor

2.8.4.6 Panel frontal

A continuación, se muestra el diseño y funcionamiento de las pantallas que conforman el sistema de control, monitoreo en tiempo real y visualización de la subestación.

Luego de hacer clic en la flecha Run de LabVIEW se visualiza una pantalla que contiene el diagrama unifilar de la subestación y las pestañas de control la cual se observa en la Figura 64.

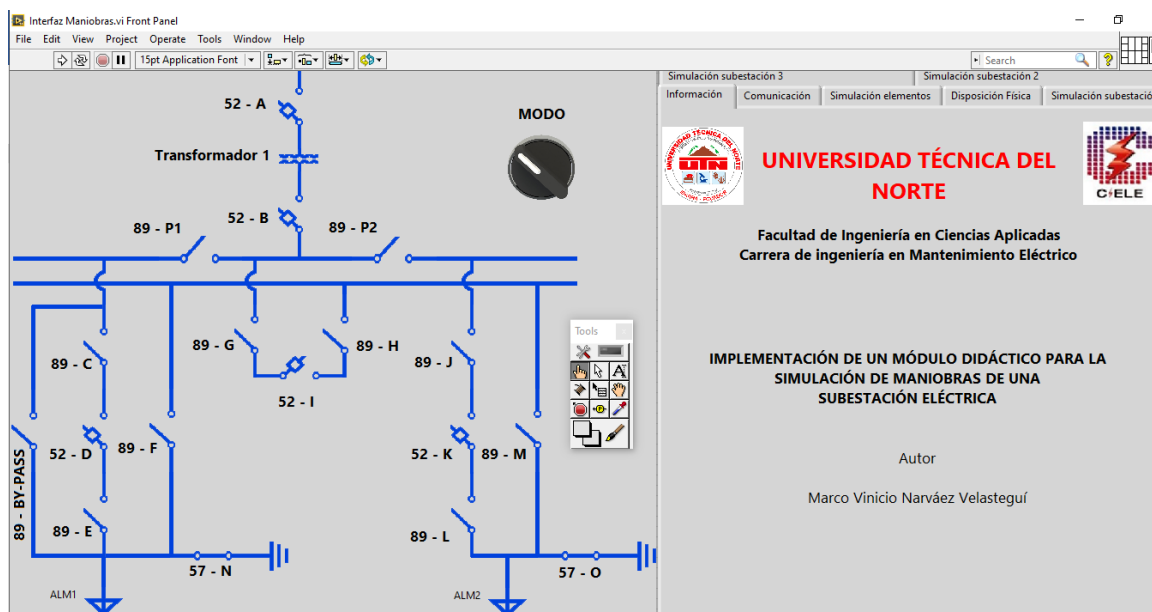


Figura 64. Panel frontal

Fuente: Autor

2.8.4.6.1 Pestaña de datos informativos

En la pestaña etiquetada como “Información” se detalla el nombre de la institución, título del trabajo y el nombre del autor.

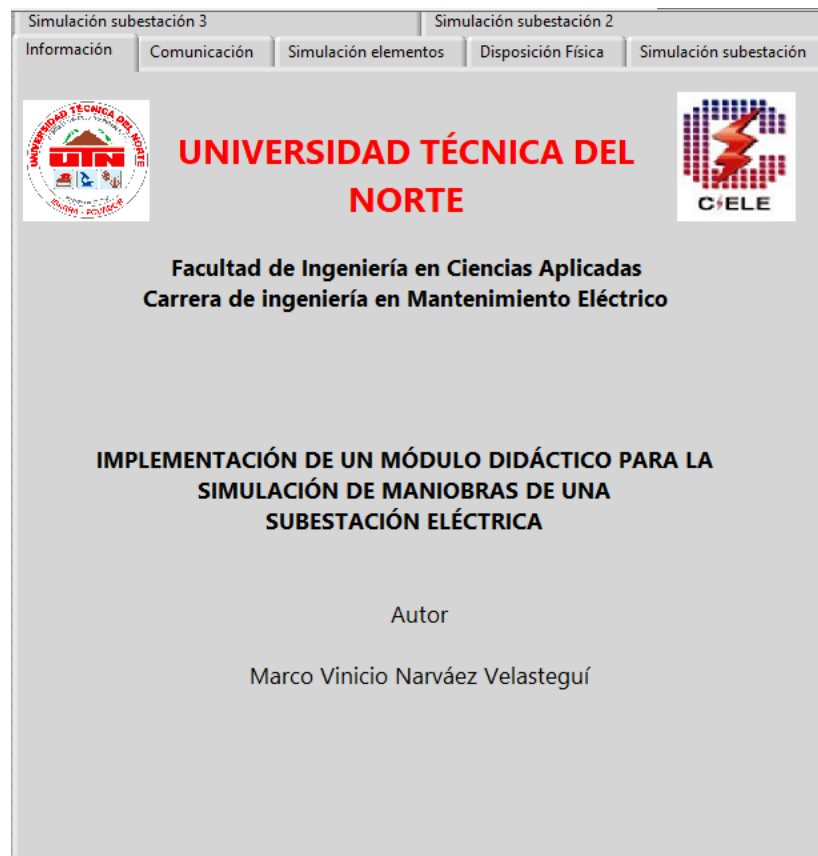


Figura 65. Pestaña de información

Fuente: Autor

2.8.4.6.2 Pestaña de comunicación

En la Figura 66 se visualiza los pasos que deben seguir para lograr la comunicación en el modo de funcionamiento remoto, pasos para el cambio de modo, el puerto de comunicación y botón STOP para detener la comunicación serial.

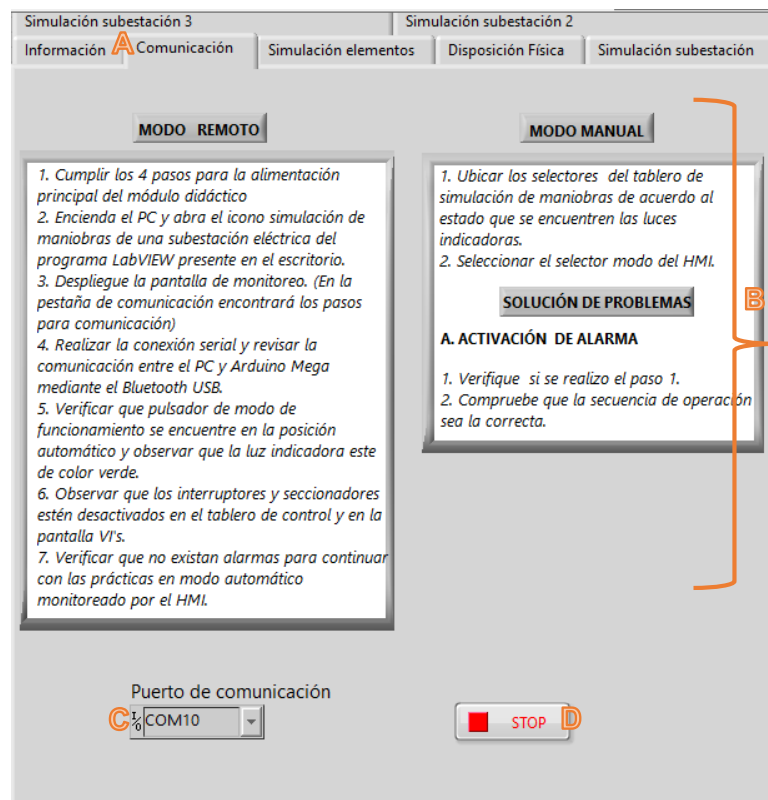


Figura 66. Pestaña de comunicación

Fuente: Autor

A continuación, se detalla los componentes de la pestaña de control etiquetada como “Comunicación”.

- A. Nombre de la pestaña. – Muestra el título de la pestaña.
- B. Modo de funcionamiento. – Visualiza los pasos para cada modo.
- C. Puesto de comunicación. - Muestra el puerto COM en el que está conectado el Bluetooth USB.
- D. STOP. - Al presionar este botón la comunicación se detiene.

2.8.4.6.3 Pestaña de simulación de elementos

La Figura 67 muestra los elementos de corte y mando, definición de cada uno y el monitoreo que permite visualizar la acción de apertura y cierre de los elementos en tiempo real, esto se podrá observar en el 52 – K y 89 – M.

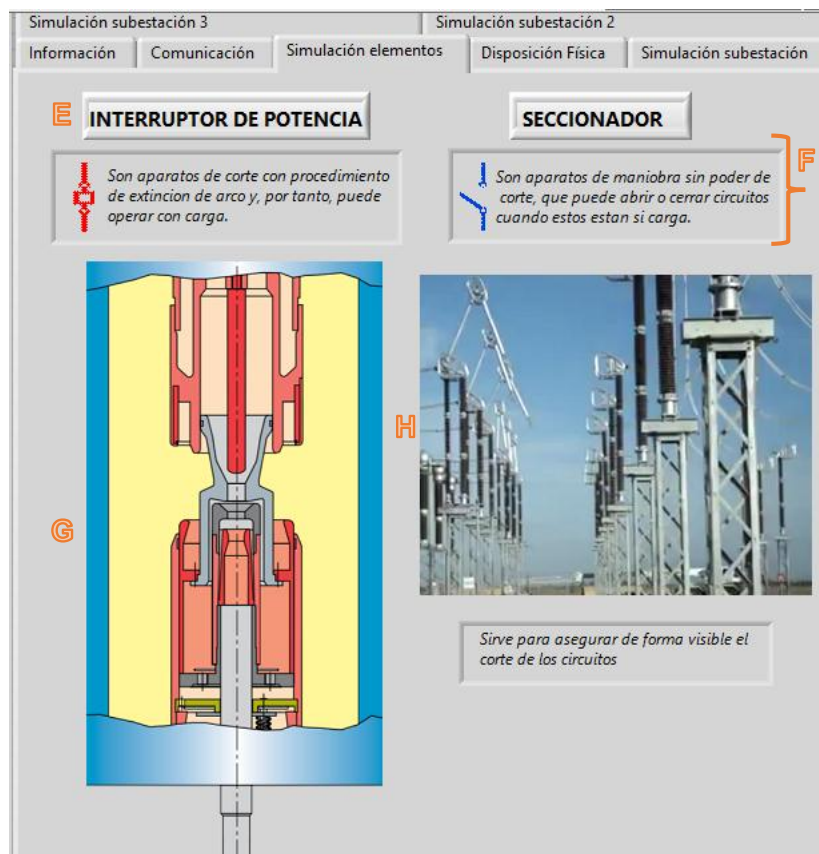


Figura 67. Apertura y cierre de elementos de la subestación

Fuente: Autor

A continuación, se detalla los componentes de la pestaña de control etiquetada como “Simulación de Elementos”.

- E. Título. – Indica el respectivo nombre de cada dispositivo.
- F. Definición. – Es un concepto conciso de cada dispositivo.
- G. Interruptor. – Muestra el funcionamiento de un interruptor tanque vivo.
- H. Seccionador. – Muestra el funcionamiento de un seccionador de columnas y con apertura vertical.

2.8.4.6.4 Pestaña de la disposición física

En la Figura 68 se visualiza las distancias de seguridad para evitar el contacto directo con los puntos calientes de una subestación, además se colocó una tabla que especifica las distancias dependiendo del voltaje.

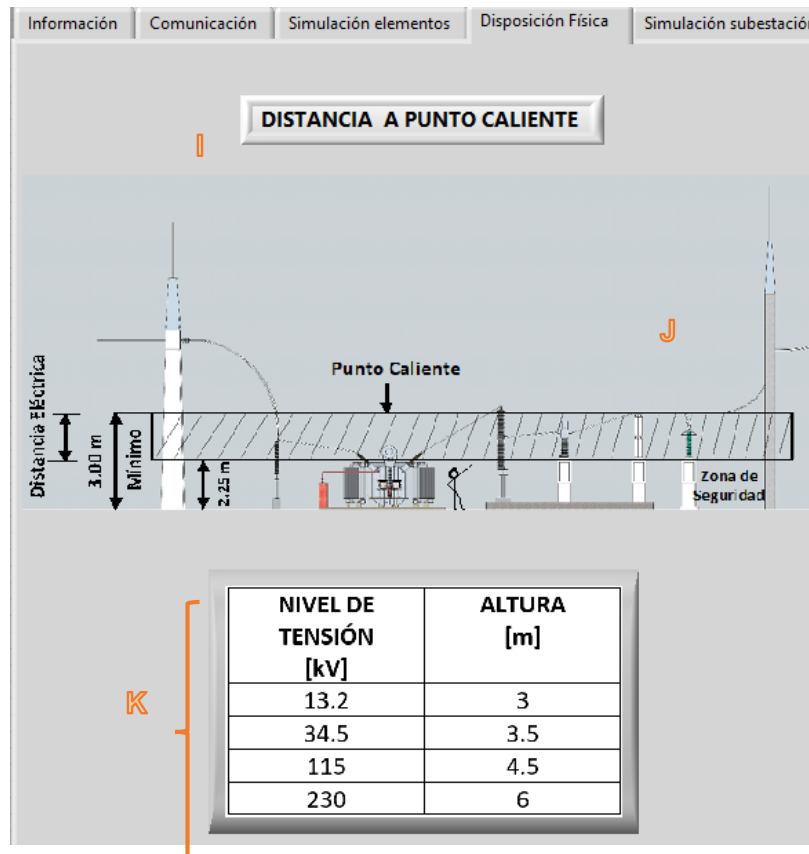


Figura 68. Pestaña de la distancia a punto caliente

Fuente: Autor

A continuación, se detalla los componentes de la pestaña de control etiquetada como “Disposición Física”.

- I. Título. - Muestra el título de la representación de la pestaña “Disposición Física”
- J. Visualización de medidas. – Mediante la vista en corte de una subestación eléctrica se observa las distancias.
- K. Tabla. – Muestra las alturas al punto caliente de acuerdo con el voltaje de la subestación eléctrica.

2.8.4.6.5 Pestañas de los diseños didácticos de la disposición de equipos en patio de la subestación eléctrica

En la Figura 69 se visualiza una rotación de 360° de la parte de transformación de la subestación eléctrica que se va controlar, permitiendo reconocer los esquemas y elementos en el patio de conexiones, estos complementos didácticos del HMI mejora nuestro sistema SCADA.

A continuación, se muestra en la pestaña de control “Subestación” el diseño 3D de la parte de transformación de la subestación eléctrica.

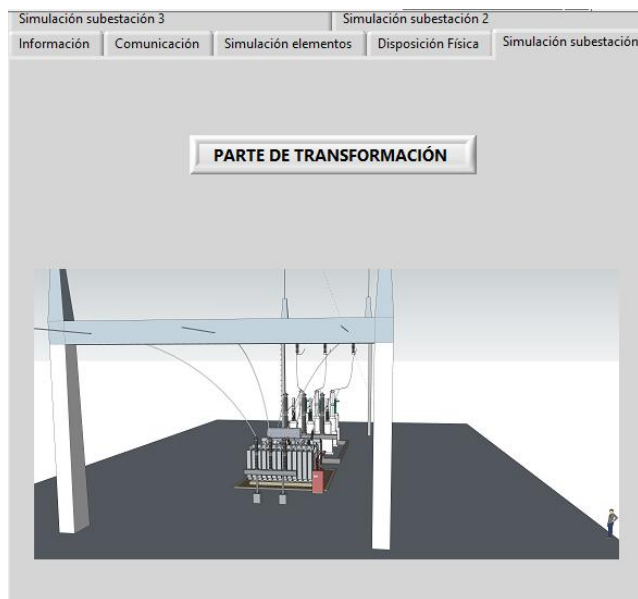


Figura 69. Parte de transformación

Fuente: Autor

En la Figura 70 se visualiza la segunda parte del diseño en 3D de la subestación eléctrica y la pestaña que la contiene es “Subestación 2”.

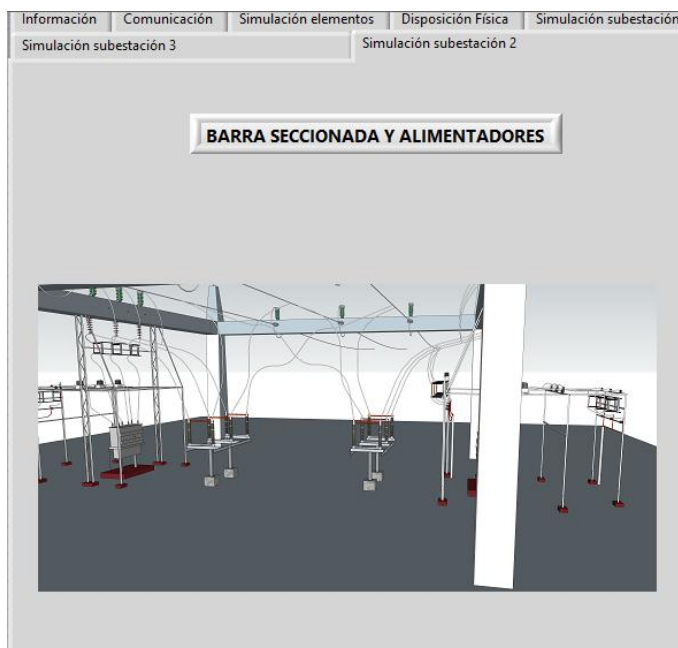


Figura 70. Barra seccionada y alimentadores

Fuente: Autor

La última pestaña de control esta etiquetada como “Subestación 3” que muestra la barra de transferencia en el patio de conexiones.

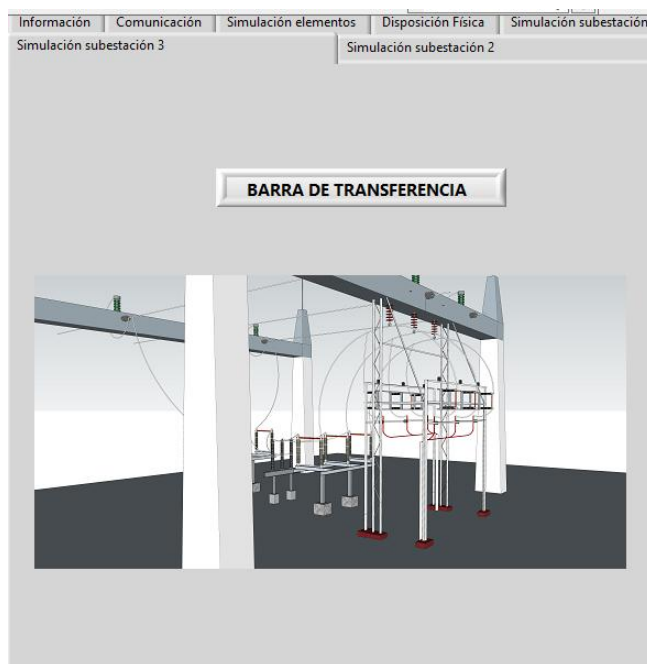


Figura 71. Barra de transferencia

Fuente: Autor

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos en las diferentes pruebas de funcionamiento, las cuales se realizaron antes y durante la instalación del tablero de simulación de maniobras con monitoreo local o remoto. A continuación, se describe los procesos desarrollados para lograr un correcto funcionamiento del proyecto de trabajo de grado.

3.1 Prueba 1: Verificación de funcionamiento de las luces indicadoras.

Objetivo: Verificar la función de accionamiento de relés para el encendido y apagado de las luces indicadoras.

Desarrollo

Con la programación que se creó en Arduino se efectuó la distribución de entradas y salidas, las cuales son utilizadas para enviar la señal al relé. La señal permite mover el contacto móvil para cerrar el circuito con el contacto fijo NO (normalmente abierto). Es así como se realizó las conexiones para encender y apagar las luces verdes, al apagar las luces verdes el contacto fijo NC (normalmente cerrado) enciende las luces rojas.

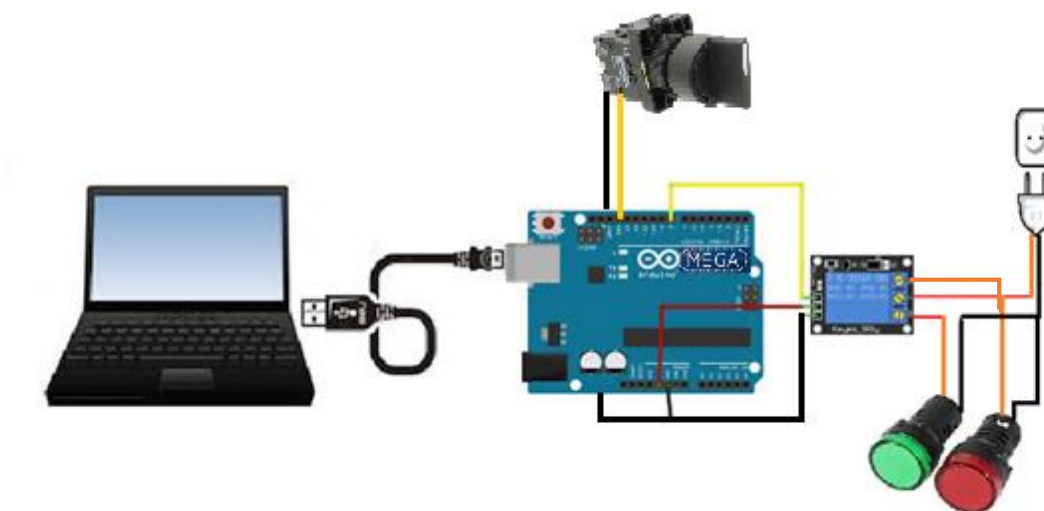


Figura 72. Conexiones selector y luces indicadoras

Fuente: Autor

Las conexiones de los selectores se realizaron mediante la configuración pull - up, cuando el circuito está en reposo, selector en la posición abierto, la caída de tensión es de 5V (HIGH), cuando el selector está en la posición cerrado se deriva toda la corriente a masa y la caída de tensión es 0V (LOW), esta resistencia pull - up establece un estado lógico en un pin o entrada del circuito.

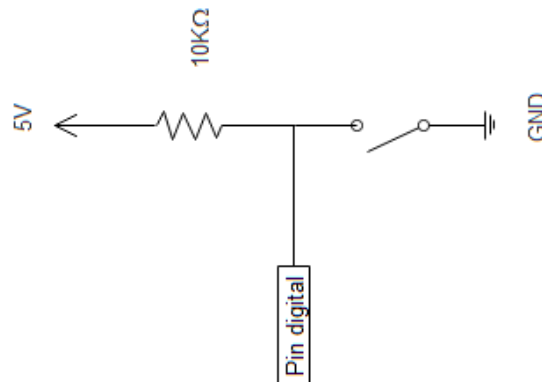


Figura 73. Selector con resistencia pull – up

Fuente: Autor

Este proceso se desarrolló dentro del proyecto para que las señales de entrada emitan la señal a los relés y permitan el cambio de estado de las luces indicadoras en los sistemas de control local y remoto.

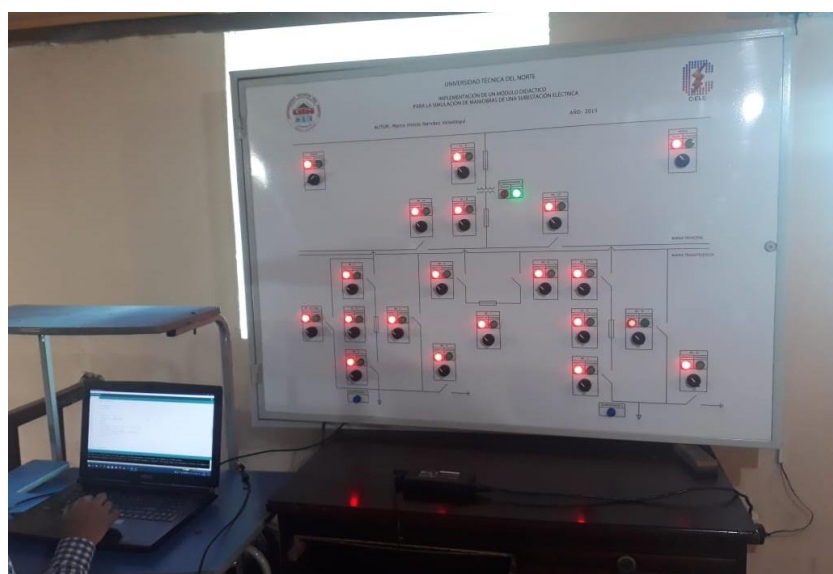


Figura 74. Luces indicadoras en estado apagado

Fuente: Autor

Conclusión

Como resultado se consiguió el funcionamiento adecuado de los relés para el encendido y apagado de las luces indicadoras tanto en su control local o remoto. Se visualizará el estado de cada elemento al operar los elementos presentes en el esquema de la subestación eléctrica, pero de acuerdo a las maniobras de cada configuración de la subestación eléctrica.

3.2 Prueba 2: Comprobación de niveles de voltaje y corriente para la coordinación de protección para el tablero de simulación de maniobras.

Objetivo: Comprobar la protección eléctrica del tablero de simulación de maniobras de una subestación mediante un instrumento de medición para salvaguardar los equipos.

Desarrollo

El proceso se realizó utilizando un multímetro que permitió verificar niveles de voltaje y corriente presentes en el tablero de control, la comprobación brinda confiabilidad y seguridad que contribuye a un correcto funcionamiento de la operación de maniobras.



Figura 75. Medición de voltaje AC en el tablero de control

Fuente: Autor

Mediante el instrumento de medición se verificó el voltaje DC en las salidas de las fuentes de alimentación para los relés, voltajes de entrada y salida en AC para alimentar las luces indicadoras y su amperaje para coordinar la protección adecuada.

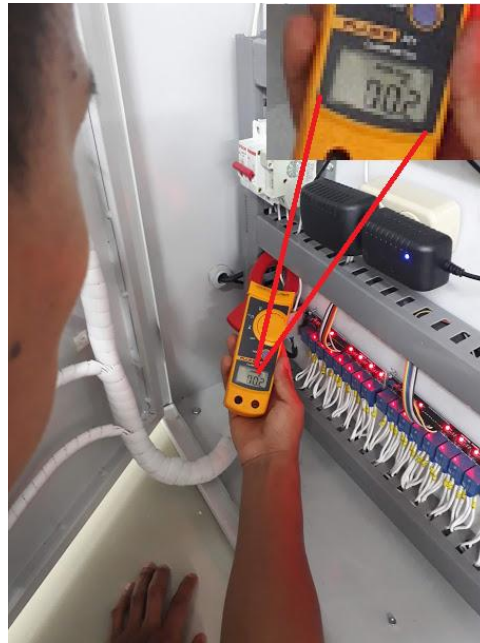


Figura 76. Medición de la intensidad de corriente eléctrica en el tablero de control

Fuente: Autor

Conclusión

Las mediciones de niveles de voltaje y corriente contribuyeron en el dimensionamiento de protección eléctrica para el tablero de control, lo cual ayuda a proteger los dispositivos de sobrecorrientes, así mismo la verificación de niveles de intensidad que fluye por los conductores utilizados en las conexiones de los dispositivos permite confirmar con los parámetros del conductor seleccionado. Además, el control de niveles de voltajes en entradas y salidas de equipos evita daños en los mismos.

3.3 Prueba 3: Funcionamiento del tablero de simulación de maniobras con su modo local.

Objetivo: Revisar el funcionamiento del tablero de simulación de maniobras de una subestación a través de su modo local.

Desarrollo

Una vez realizado el montaje de los elementos que conforman el tablero de control, se procedió a cargar en el controlador Arduino la programación antes creada de las distintas secuencias de maniobras que se pueden realizar en la subestación, luego se ubica el selector que controla el modo local y remoto en la posición izquierda con sentido a la luz roja. Una vez realizado el paso principal para el control local se realiza las secuencias para energizar los dos alimentadores, luego se comprueba las condiciones dispuestas para que cada procedimiento realizado en el tablero de control sea ordenado, además se realizaron bloqueos en seccionadores, seccionadores de tierra e interruptores, para evitar un mal procedimiento al maniobrar los equipos dentro de la subestación.

- **Condiciones iniciales**

Interruptores y seccionadores abiertos excepto seccionadores de puesta a tierra 57 - N y 57 – O.

- **Maniobras para energizar la Barra de 13,8 KV**

Cerrar el interruptor 52 - A.

Cerrar el interruptor 52 - B.

- **Maniobras para desconectar la Barra de 13,8 KV**

Abrir el interruptor 52 - B.

Abrir el interruptor 52 - A.

- **Maniobras para conectar Alimentador 1**

Cerrar el seccionador 89 - P1

Abrir las cuchillas de puesta a tierra 57 - N.

Cerrar los seccionadores 89- C y 89- E.

Cerrar el interruptor 52 - D.

- **Maniobras para desconectar Alimentador 1**

Abrir el interruptor 52 - D.

Abrir los seccionadores 89- C y 89- E.

Cerrar las cuchillas de puesta a tierra 57 - N.



Figura 77. Conexión del alimentador 1 y 2 con su modo local.

Fuente: Autor

- **Maniobras para conectar Alimentador 2**
 Cerrar el seccionador 89 – P2
 Abrir las cuchillas de puesta a tierra 57 - 0.
 Cerrar los seccionadores 89- J y 89- L.
 Cerrar el interruptor 52 - K.

- **Maniobras para desconectar Alimentador 2**
 Abrir el interruptor 52 - K.
 Abrir los seccionadores 89- L y 89- J.
 Cerrar las cuchillas de puesta a tierra 57 - 0.

- **Maniobras para desconectar Alimentador 2 con Seccionador P2**
 Abrir el interruptor 52 - K.
 Abrir los seccionadores 89- J y 89- L.
 Cerrar las cuchillas de puesta a tierra 57 - 0.
 Abrir el seccionador 89 – P2

- **Maniobra para conectar By – Pass al Alimentador 1**
 Cerrar el seccionador By - Pass.



Figura 78. Maniobra del seccionador By-pass desde el modo local.

Fuente: Autor

- **Maniobras para desconectar Alimentador 1 con By - Pass**
 Abrir el interruptor 52 - D.
 Abrir los seccionadores 89- C y 89- E.
- **Maniobra para desconectar By – Pass del Alimentador 1**
 Cerrar los seccionadores 89- C y 89- E.
 Cerrar el interruptor 52 - D.
 Abrir el seccionador By - Pass.
- **Maniobras para desconectar Alimentador 1 con Seccionador P1**
 Abrir el interruptor 52 - D.
 Abrir los seccionadores 89- C y 89- E.
 Cerrar las cuchillas de puesta a tierra 57 - N.
 Abrir el seccionador 89 - P1
- **Maniobras para conectar Alimentador 1 y 2 con la Barra de Transferencia**
 Cerrar el seccionador 89 - G
 Cerrar los seccionadores 89- H
 Cerrar el interruptor 52 - I.

Cerrar los seccionadores 89 – F y 52 - M

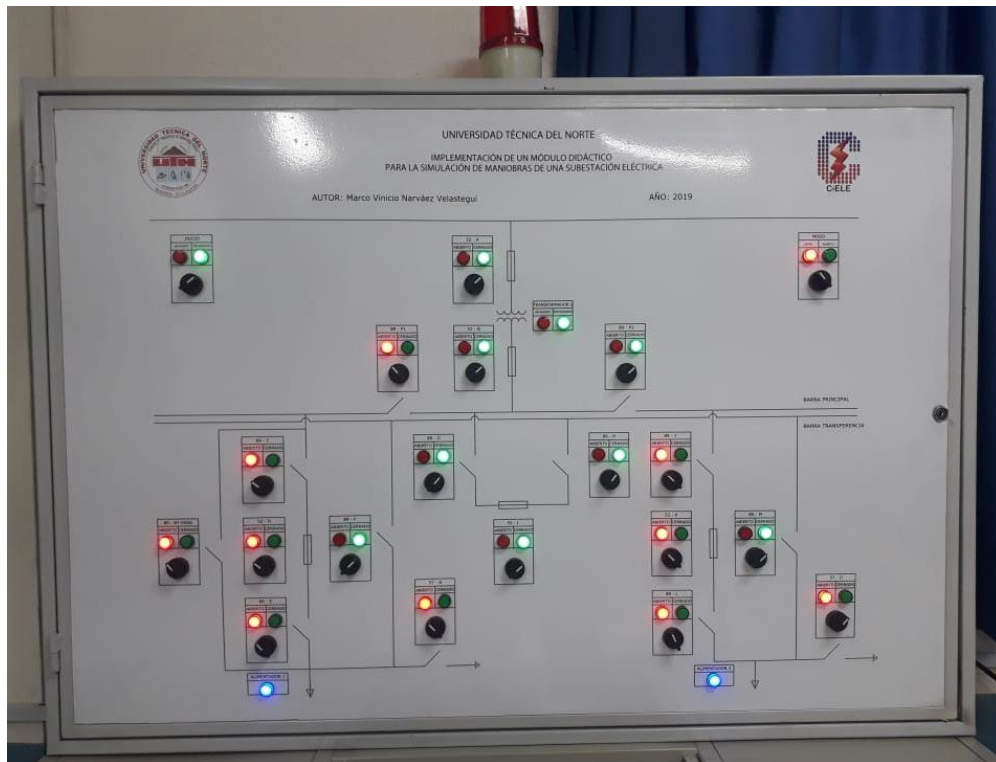


Figura 79. Conexión de la barra de transferencia mediante el modo local.

Fuente: Autor

- **Maniobras para desconectar Alimentador 1 y 2 con la Barra de Transferencia**

Abrir el interruptor 52 - I.

Abrir los seccionadores 89 – F y 89 - M

Abrir el seccionador 89 - G

Abrir los seccionadores 89- H

Conclusión

Con la comprobación del funcionamiento local se verificó que las secuencias de operación tengan sus condiciones, bloqueos para evitar un mal procedimiento de la maniobra y problemas en los equipos brindando seguridad y confiabilidad a la subestación. Además, se visualizó que las condiciones y bloqueos están dispuestos de acuerdo a las características de funcionamiento de cada elemento dentro de una subestación, lo cual al ser un módulo didáctico el sistema de control permite corregir un mal procedimiento en las maniobras.

3.4 Prueba 4: Funcionamiento del tablero de simulación de maniobras con su modo remoto.

Objetivo: Verificar el funcionamiento del tablero de simulación de maniobras de una subestación a través de su modo remoto.

Desarrollo

Para la realización de esta prueba se incluye un ordenador en el cual se instala el software LabVIEW para el diseño y creación de las pantallas de la HMI del sistema SCADA, luego de ejecutar el software se visualiza la pantalla en la cual se observa datos informativos, el diagrama de la subestación, esta pantalla permitirá el monitoreo, supervisión y control de la subestación.

- **Condiciones iniciales**

Interruptores y seccionadores abiertos excepto seccionadores de puesta a tierra 57 - N y 57 - O.

- **Maniobras para energizar la Barra de 13,8 KV**

Cerrar el interruptor 52 - A.

Cerrar el interruptor 52 - B.

- **Maniobras para desconectar la Barra de 13,8 KV**

Abrir el interruptor 52 - B.

Abrir el interruptor 52 - A.

- **Maniobras para conectar Alimentador 1**

Cerrar el seccionador 89 - P1

Abrir las cuchillas de puesta a tierra 57 - N.

Cerrar los seccionadores 89- C y 89- E.

Cerrar el interruptor 52 - D.

- **Maniobras para desconectar Alimentador 1**

Abrir el interruptor 52 - D.

Abrir los seccionadores 89- C y 89- E.

Cerrar las cuchillas de puesta a tierra 57 - N.

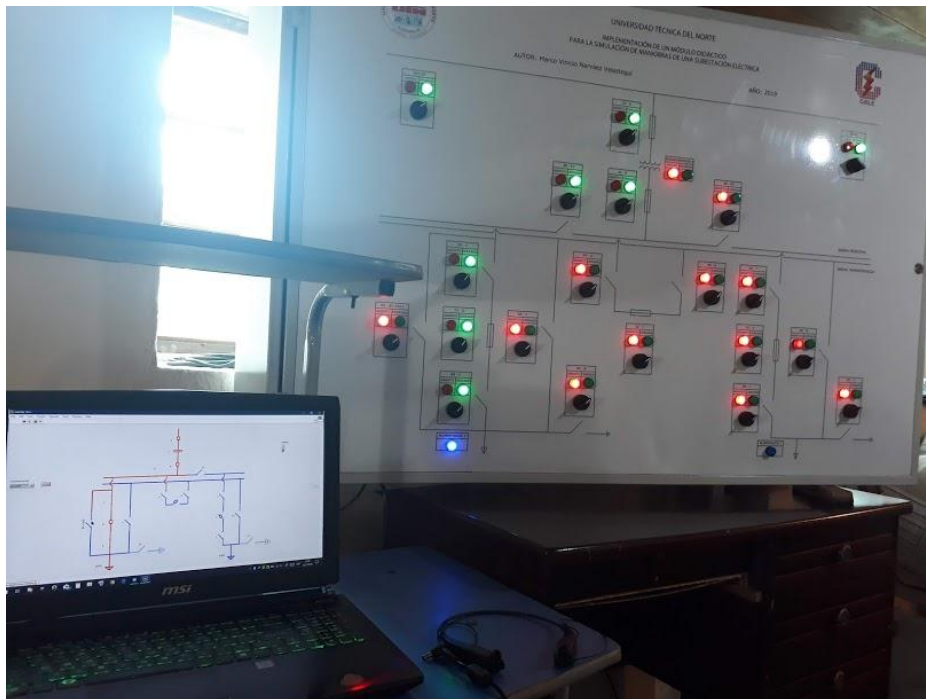


Figura 80. Funcionamiento remoto del módulo didáctico.

Fuente: Autor

- **Maniobra para conectar By – Pass al Alimentador 1**
Cerrar el seccionador By - Pass.
- **Maniobras para desconectar Alimentador 1 con By - Pass**
Abrir el interruptor 52 - D.
Abrir los seccionadores 89- C y 89- E.
- **Maniobras para desconectar By – Pass del Alimentador 1**
Cerrar los seccionadores 89- C y 89- E.
Cerrar el interruptor 52 - D.
Abrir el seccionador By - Pass.

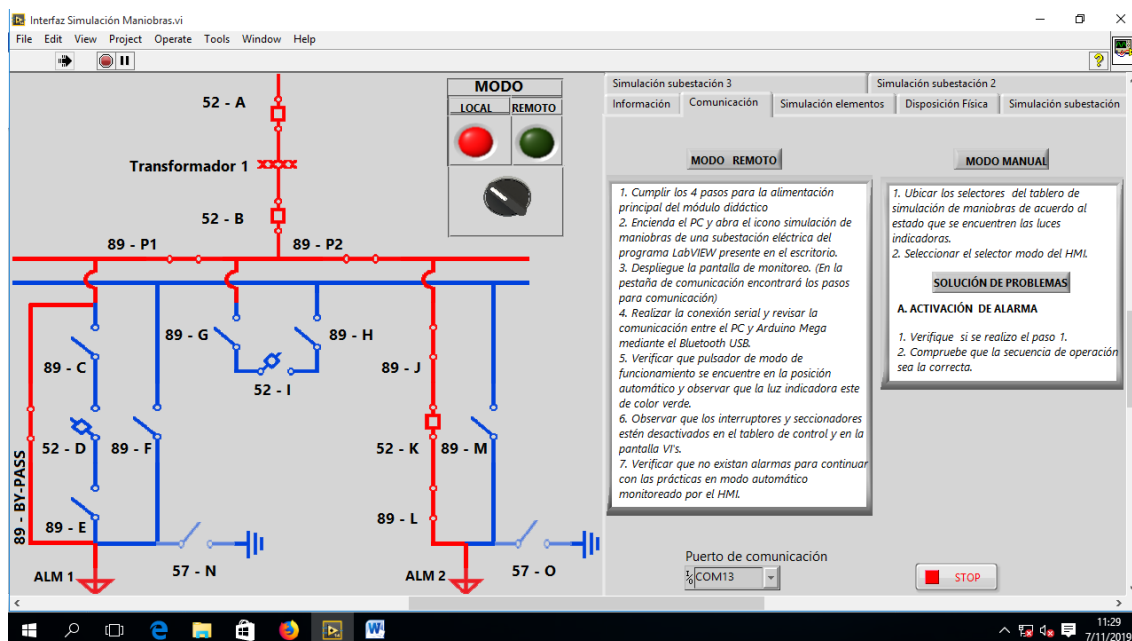


Figura 81. Maniobra del interruptor By-pass desde el modo remoto.

Fuente: Autor

- **Maniobras para desconectar Alimentador 1 con Seccionador P1**
 Abrir el interruptor 52 - D.
 Abrir los seccionadores 89- C y 89- E.
 Cerrar las cuchillas de puesta a tierra 57 - N.
 Abrir el seccionador 89 - P1
- **Maniobras para conectar Alimentador 1 y 2 con la Barra de Transferencia**
 Cerrar el seccionador 89 - G
 Cerrar los seccionadores 89- H
 Cerrar el interruptor 52 - I.
 Cerrar los seccionadores 89 – F y 52 – M
- **Maniobras para desconectar Alimentador 1 y 2 con la Barra de Transferencia**
 Abrir el interruptor 52 - I.
 Abrir los seccionadores 89 – F y 89 - M
 Abrir el seccionador 89 - G
 Abrir los seccionadores 89- H

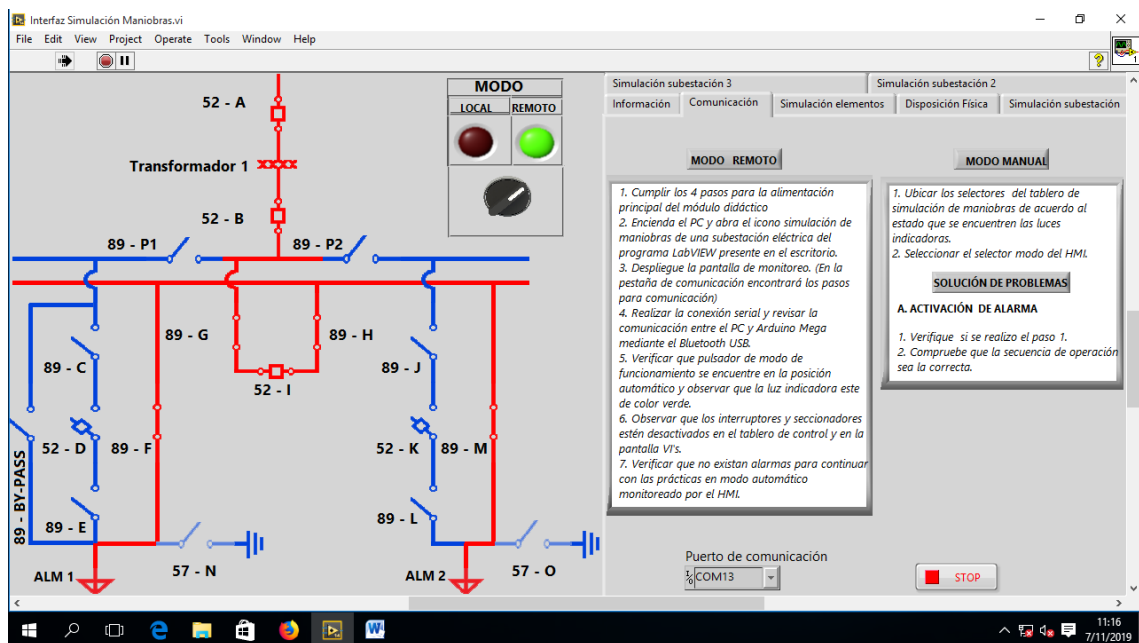


Figura 82. Conexión de la barra de transferencia mediante el modo remoto.

Fuente: Autor

- **Maniobras para conectar Alimentador 2**
 Cerrar el seccionador 89 – P2
 Abrir las cuchillas de puesta a tierra 57 - 0.
 Cerrar los seccionadores 89- J y 89- L.
 Cerrar el interruptor 52 - K.
- **Maniobras para desconectar Alimentador 2**
 Abrir el interruptor 52 - K.
 Abrir los seccionadores 89- L y 89- J.
 Cerrar las cuchillas de puesta a tierra 57 - 0.
- **Maniobras para desconectar Alimentador 2 con Seccionador P2**
 Abrir el interruptor 52 - K.
 Abrir los seccionadores 89- J y 89- L.
 Cerrar las cuchillas de puesta a tierra 57 - 0.
 Abrir el seccionador 89 – P2

Conclusión

Mediante el modo remoto se validó que las condiciones y bloqueos para cumplir las secuencias de maniobras de conexión y desconexión de los dispositivos de maniobra de la subestación son correctas, con respecto a la comunicación se comprobó que es rápida y no presenta problemas para el funcionamiento del módulo didáctico.

3.5 Prueba 5: Verificación de la activación de alarmas al operar incorrectamente los dispositivos de maniobra de la subestación.

Objetivo: Verificar la activación de alarmas al operar incorrectamente los dispositivos de maniobras de la subestación.

Desarrollo

En una subestación eléctrica se debe evitar errores de conexión y desconexión, pues se debe brindar seguridad al personal, salvaguardar los equipos y la confiabilidad del sistema, por lo cual en la simulación de maniobras una maniobra incorrecta al momento de operar los dispositivos genera una alerta mediante un cuadro de texto en el HMI y en el tablero el aviso será mediante una alarma licuadora con sonido.

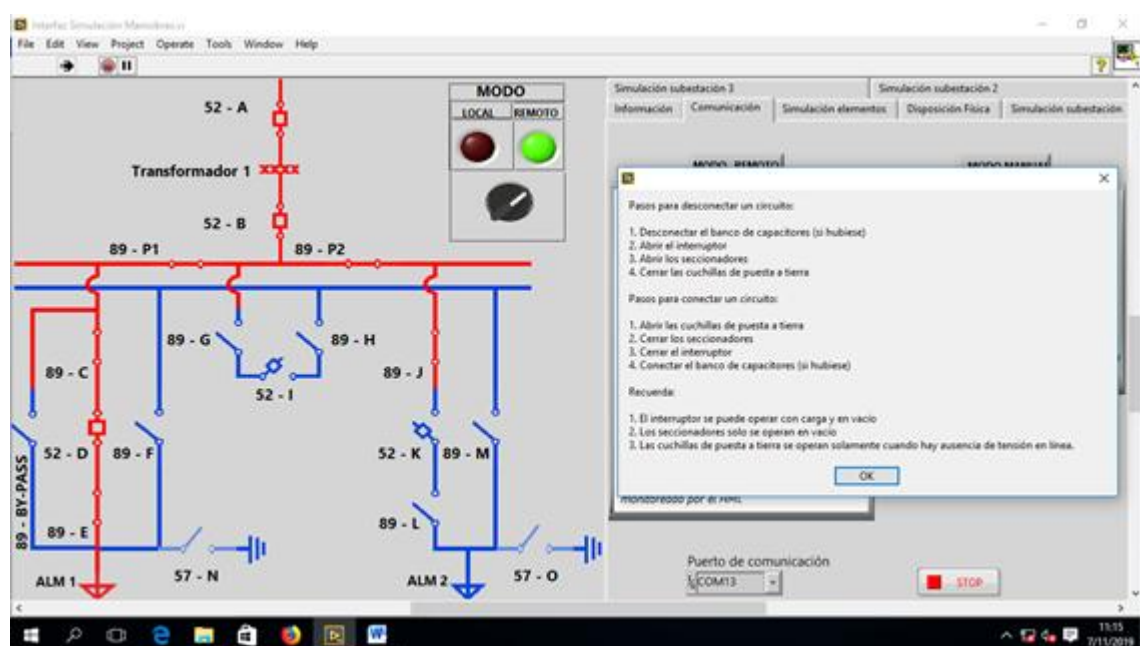


Figura 83. Cuadro de alarma en el HMI

Fuente: Autor

En el modo local al accionar incorrectamente cualquier selector correspondiente a seccionadores e interruptores activará la alarma y si el selector regresa a su estado inicial activará nuevamente la alarma. Además, cuando se utiliza el modo remoto y se desea un cambio de modo de funcionamiento se debe ubicar los selectores del tablero en la posición que se encuentren las luces indicadoras para evitar la activación de la alarma.

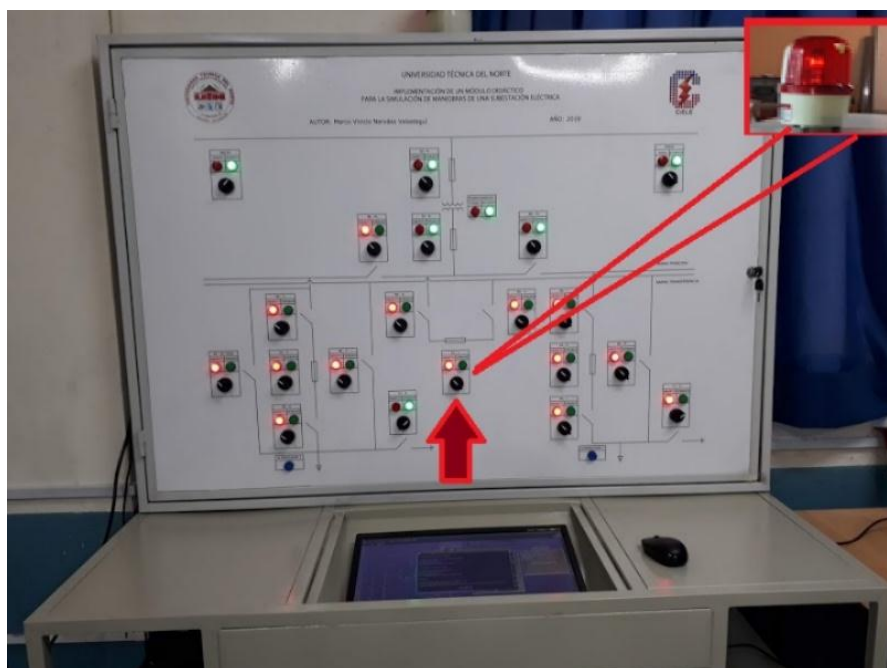


Figura 84. Alarma licuadora para el modo local y remoto

Fuente: Autor

Conclusión

Como resultado se obtuvo que al ejecutar las maniobras disponibles en las diferentes configuraciones de la subestación se evidenció la activación de la alarma al momento de realizar una mala operación en los dispositivos de corte y maniobra en cualquier modo de funcionamiento. Además, se creó este sistema de alarma debido a que es un módulo didáctico para estudiantes.

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Mediante un análisis realizado sobre las configuraciones de una subestación eléctrica se determinó la tendencia europea para tener la posibilidad de conectarse a la barra por medio de un seccionador, lo cual facilitó el diseño de una subestación de barra simple con transferencia. Además, en esta configuración se conectó un seccionador By – pass al alimentador 1 y dos seccionadores barra partida a la barra principal, de tal forma que su operación brinde seguridad, confiabilidad, flexibilidad para maniobrar, transformar y distribuir energía.

El diseño del módulo didáctico se realizó considerando características y tamaños de los elementos y dispositivos seleccionados, creando así un modelo compacto con simetría que permitió su implementación de manera concisa y ordenada para el uso de simulación de maniobras de una subestación eléctrica.

Se realizó un sistema SCADA utilizando el software LabVIEW, se sincronizó el proceso de maniobras de elementos en una subestación eléctrica, obteniendo el monitoreo y control del sistema mediante un ordenador que permite su modo de funcionamiento remoto con comunicación serial.

Con respecto al sistema de alarma se implementó de forma general en todas las secuencias de operación por lo cual al operar un elemento de corte y mando incorrectamente el sistema detectará esta acción para mostrar un mensaje de alerta en HMI y la activación de la luz roja tipo licuadora.

El protocolo de prácticas propuestas en la parte de anexos está dirigido a los estudiantes de la Carrera de CIELE, con la finalidad de familiarizar al usuario con el modelo implementado. Además, el material servirá para evitar malos procedimientos en las secuencias de operación y permitirá adquirir conocimientos acerca de las maniobras de equipos de una subestación eléctrica.

4.2 Recomendaciones

El tablero de simulación de maniobras tiene facilidad para cambiar el sistema de comunicación a una conexión ethernet mediante nuevos dispositivos, lo cual se recomienda implementarlo en futuras investigaciones.

Para brindar seguridad y durabilidad de los elementos presentes en el tablero de simulación de maniobras, el diseño cuenta con protecciones eléctricas para evitar inconvenientes en el funcionamiento, por ello se utilizó fusibles para que actúen a tiempo en caso de suceder cortocircuitos o sobrecargas, por lo cual se sugiere inspeccionar que se encuentren en buen estado.

Es posible remplazar la luz azul que representa los Alimentadores por una luz que proporcione mayor carga, como un foco led de 9w que su intensidad es mínima y no afectara al sistema, esta sugerencia se debe considerar si se desea realizar la visualización de valores de corriente, potencia y voltaje para obtener valores más relevantes.

Al momento de realizar las prácticas de laboratorio, los estudiantes siempre deben tener en cuenta que al realizar el control de forma remota los selectores de dos posiciones no son automáticos, por ello en el cambio de modo de funcionamiento el primer paso es ubicar los selectores en la posición que se encuentran las luces indicadoras para evitar la activación de la alarma.

BIBLIOGRAFÍA


- Ald, M. (16 de mayo de 2017). *Niveles de voltaje en el ecuador y calidad de servicio*. Recuperado el 05 de enero de 2019, de <https://es.scribd.com/document/348506679/Niveles-de-Voltaje-en-El-Ecuador>
- AliExpress. (26 de Julio de 2019). *Electrical Equipment: AliExpress*. Obtenido de AliExpress: <https://es.aliexpress.com/item/32375219839.html>
- Alvarado, D. (2016). Partes de la subestación eléctrica. *Revista educativa*. Obtenido de https://www.partesdel.com/partes_de_la_subestacion_electri
- Aponte, G. (16 de Noviembre de 2009). *Scribd*. Obtenido de file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/386623971-Anexo-18-a-Manual-de-Mantenimiento-Para-Subestaciones.pdf
- Botero G., J. (2013). *Las subestaciones eléctricas*. Recuperado el 12 de noviembre de 2018, de http://www.javierbotero.com/Javier_Botero/SUBESTACIONES.html
- Caldas, J. (2016). *Subestaciones de distribución*. (U. D. Caldas, Ed.) Recuperado el 15 de noviembre de 2018, de <http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/gispud/redeselectricas/site/cap2/c2selecsube25.php>
- Carrión Gordillo, K. F. (2018). *Diseño de un prototipo de red lan iec 61850 para su implementación como medio didáctico en simulación del control de una subestación eléctrica*. trabajo de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado el 12 de noviembre de 2018, de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14561/TRABAJO%20DE%20TITULACION%20Klever%20Carri%c3%b3n%20G.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carvajal, A. (2007). *Manual Técnico de instalaciones eléctricas*. Bergamo, Italia: ABB SACE. Obtenido de <https://library.e.abb.com/public/79e9d70830db5707c125791f0038dfff/Manual%20tecnico%20de%20instalaciones%20electricas.pdf>
- Catañeda, L. (2014). *Equipos de subestaciones, operación de subestaciones*. Recuperado el 3 de diciembre de 2018, de https://prezi.com/evtk_vyu4lae/equipos-de-subestaciones-operacion-de-subestaciones-inter/
- Contreras, H. (2017). *Las subestaciones eléctricas*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 15 de noviembre de 2018, de <http://www.chec.com.co/Portals/0/5-SUBESTACIONES-DE-MEDIA-TENSION-4.pdf>

- Coronado, K. (2008). *Elementos de diseño de subestaciones de alta y extra alta tensión*. trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Bolívar. Recuperado el 26 de noviembre de 2018, de <http://biblioteca.unitecnologica.edu.co/notas/tesis/0044435.pdf>
- Dispac. (Marzo de 2015). *Manual de Mantenimiento para Subestaciones Eléctricas*. Recuperado el 24 de Enero de 2019, de <http://dispac.com.co/wp-content/uploads/2015/05/ANEXO-18-A-MANUAL-DE-MANTENIMIENTO-PARA-SUBESTACIONES.pdf>
- EmelNorte. (2013). *Manual de operación subestación Alpachaca 69 kV*. Ibarra, Ecuador: Emelnorte S. A.
- Enríquez Harper, G. (2014). *Elementos de Diseño de subestaciones eléctricas* (cuarta ed.). Lima, Perú: Imusa.
- Gil, J. L. (2011). *Entorno para el entrenamiento de operadores de subestaciones eléctricas - Maniobras en las estaciones eléctricas*. Recuperado el 16 de noviembre de 2018, de <https://zaguan.unizar.es/record/5615/files/TAZ-PFC-2011-067.pdf>
- Gómez, F., & Vargas, H. (2016). Planeamiento del diseño de subestaciones eléctricas. (5). Recuperado el 16 de noviembre de 2018, de <https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ep/article/download/430/353/>
- Granero, A. (21 de enero de 2016). *Maniobras en Instalaciones de Alta Tensión:imseingenieria*. Recuperado el 09 de enero de 2019, de <http://imseingenieria.blogspot.com/2016/01/maniobras-en-instalaciones-de-alta.html>
- Jiménez, M. (2017). *Elementos básicos del sistema SCALA*. Recuperado el 15 de enero de 2019, de <https://es.scribd.com/document/259178266/Elementos-Basicos-Del-Sistema-Scada>
- Linux, V. (7 de Agosto de 2016). *Elementos de maniobra: SCRIBD*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/320406224/Elementos-de-Maniobra>
- Mar, J. G., & Vidal, E. D. (2011). *Descripción y función del equipo de una subestación eléctrica: slideshare*. Recuperado el 06 de enero de 2019, de <https://es.slideshare.net/jhoonyrx/descripcin-y-funcin-del-equipo-de-una-subestacin-elctrica>
- Martín, J. R. (2014). *Diseño de Subestaciones Electricas*. Recuperado el 25 de octubre de 2018, de https://www.academia.edu/27315372/Dise%C3%B1o_de_Subestaciones_Electricas_-_Jose_Raul_Mart%C3%ADn

- Merlin, G. (2013). *Guía para las instalaciones eléctricas* (segunda ed.). A., Schneider Electric España S. Recuperado el 10 de noviembre de 2018, de <http://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/pedagogiques/946/946-guia-instalaciones-electricas-2008-s.e.pdf>
- Messa, R., Silva, J., Suarez, J., Martinez, A., Contreras, H., Peña, F., ... Moreno, C. (2008). *Procedimientos seguros en subestaciones*, manual. Recuperado 21 de agosto de 2018, de https://issuu.com/ebsarevista/docs/manual_sube_61
- National Instrument. (2006). *Diseño de Sistemas SCADA para Monitoreo de Procesos Utilizando LabVIEW DSC*. Recuperado el 20 de diciembre de 2018, de <https://docplayer.es/1864342-Diseno-de-sistemas-scada-para-monitoreo-de-procesos-utilizando-labview-dsc.html>
- Osorio Patiño, W., & Culma Ramírez, C. (2017). *Manual para la operación de subestaciones eléctricas*. trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. Recuperado el 30 de noviembre de 2018, de <http://biblioteca.unitecnologica.edu.co/notas/tesis/0044435.pdf>
- Penin, A. R. (2007). *Sistemas SCADA* (2da. ed.). España: Marcombo, Ediciones Técnicas S.A.
- Pérez, Á., & Soto, R. (2014). *Subestación construída por inmobiliaria que cede a una compañía eléctrica*. Recuperado el 10 de noviembre de 2018, de <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=153ba447-7efe-452e-8b17-a67b3c33fcf5%40pdc-v-sessmgr06>
- Pérez, E. (Diciembre de 2015). *Los sistemas SCADA en la automatización industrial: Dialnet*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2019, de Dialnet: [file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/Dialnet-LosSistemasSCADAEnLaAutomatizacionIndustrial-5280242%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/Dialnet-LosSistemasSCADAEnLaAutomatizacionIndustrial-5280242%20(2).pdf)
- Ramírez C., M. (2014). *Redes de distribución de energía*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://books.google.com.ec/books?isbn=9589322867>
- Ramirez Castaño, S. (2013). *Confiabilidad de subestaciones*. Recuperado el 2018, de <bdigital.unal.edu.co/53933/1/confiabilidaddesubestaciones.pdf>
- Ramírez, C. F. (2014). *Subestaciones de alta y extra alta tensión* (segunda ed.). Bogotá, Colombia. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://es.scribd.com/doc/251473104/Subestaciones-de-Alta-Tension-y-Extra-Alta-Tension-2da-Edicion-Carlos-Felipe-Ramirez>
- Revelo, J. A. (2017). Implementación de una red de entrenamiento de distribución eléctrica Smart Grid, 7.

- Reyes F., J. (2016). *Diseño e implementación de un sistema para la monitorización de un proceso de control de nivel y flujo*. Recuperado el 26 de diciembre de 2018, de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/8353/1/ReyesFrancoJavierAlberto2016.pdf>
- Rodríguez, A. (2012). *Sistemas Scada* (tercera ed.). Barcelona, España: Alfaomega. Recuperado el 18 de diciembre de 2018, de <https://books.google.com.ec/books?isbn=8426714501>
- Sancho, G. (2014). *Simulador de subestaciones eléctricas 2.0*. (U. d. Valladolid, Ed.) Recuperado el 23 de octubre de 2018, de uvadoc.uva.es/handle/10324/12995
- Tapia, L. (2013). *Operación de subestaciones*. Recuperado el 25 de octubre de 2018, de <https://www.scribd.com/presentation/300169548/basico>
- Toapanta, I. G., & Tocagón, W. D. (2017). Diseño e implementación de un interfaz para el control y obtención de datos del controlador (PLC TJ 509) generador eléctrico de la Universidad Técnica del Norte utilizando LABVIEW.
- Villegas, A. (2015). *Diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos y monitoreo de los generadores de un simulador experimental de laboratorio*. Recuperado el 26 de diciembre de 2018, de <https://www.sepielectrica.esimez.ipn.mx/Tesis/2015/Diseno%20e%20implementacion.pdf>
- Viqueira, J. (2010). *Redes eléctricas I* (2da ed.). México: UNAM, Facultad de Ingeniería.
- Viteri, D., Garzón, C., & Narváez, A. (2017). Análisis de confiabilidad en subestaciones eléctricas tipo maniobra implementando el transformador de tensión con núcleo de potencia, 22(1), 20. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2017.1.a04>
- XM S. A. E. S. P. (03 de marzo de 2017). *Configuración de subestaciones eléctricas*. Recuperado el 03 de enero de 2019, de https://subestacionesupe.files.wordpress.com/2017/03/03_configuracion-de-subestaciones-electricas.pdf

Anexo A: Manual de Usuario

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO</p>	
MANUAL DE USUARIO		
<p>MODULO DIDÁCTICO PARA LA SIMULACIÓN DE MANIOBRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA</p> <p>El módulo didáctico simula las maniobras de conexión y desconexión en los dispositivos de una subestación eléctrica con barra principal y barra de transferencia en donde las maniobras se controlan de dos maneras: local y remoto.</p>		
<p>Alimentación principal del módulo didáctico para la simulación de maniobras de una subestación eléctrica.</p> <ol style="list-style-type: none">1. Conectar la alimentación principal de 110 a 120 V en corriente alterna.2. Verificar en el módulo didáctico la activación del breaker principal.3. Maniobrar el selector de inicio a la posición de encendido.4. Revisar que todas las luces indicadoras del tablero estén encendidas.		
<p>Modo Remoto – LabVIEW</p> <ol style="list-style-type: none">1. Cumplir los 4 pasos para la alimentación principal del módulo didáctico2. Encienda el PC y abra el icono Simulación Maniobras Subestación Eléctrica del programa LabVIEW presente en el escritorio.3. Despliegue la pantalla de monitoreo. (En la pestaña de comunicación encontrará los pasos para comunicación)4. Realizar la conexión serial y revisar la comunicación entre el PC y Arduino Mega mediante el Bluetooth USB.5. Verificar que pulsador de modo de funcionamiento se encuentre en la posición remoto y observar que la luz indicadora este de color verde.6. Observar que los interruptores y seccionadores estén desactivados en el tablero de control y en la pantalla VI's.7. Verificar que no existan alarmas en el HMI del sistema SCADA para continuar con las prácticas.		

Modo Local

1. Cumplir los 4 pasos para la alimentación principal del módulo didáctico
2. Colocar el selector de modo de funcionamiento en la posición local y observar que la luz indicadora este de color roja.
3. Observar que los interruptores y seccionadores estén desactivados en el tablero de control, en el módulo observamos que los selectores manuales estén en la posición abierto y con sentido a la luz indicadora roja.
4. Para continuar con las prácticas los pasos anteriores deben estar correctamente.

SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

A continuación, se menciona algunos problemas que pueden presentarse al poner en funcionamiento el módulo didáctico y sugerencias para resolverlos.

A. El módulo didáctico no enciende

1. Verifique la fuente de alimentación esté conectada correctamente.
2. Observe que el breaker principal del módulo esté activado. Para evitar una descarga eléctrica desenergizar el módulo.
3. Revise la fuente de alimentación del controlador Arduino mediante un multímetro.

B. El módulo no comunica con el HMI

1. Observe que el Bluetooth USB esté conectado (Arduino – PC).
2. Compruebe que el cable de comunicación se encuentre en buen estado.
3. Asegúrese que los protocolos de comunicación establecidos son los apropiados.
4. Utilice otro cable de comunicación.

C. Presencia de alarmas

1. Identifique la alarma que se visualiza en la pantalla VI's de LabVIEW
2. Revise las características de funcionamiento de los seccionadores e interruptores para realizar la maniobra adecuada.
3. Tome en cuenta el manual de prácticas.

D. Normas de seguridad

- Tener presente las 5 reglas de oro.
- Cuando se desee realizar correcciones en el módulo debe asegurarse que la fuente de alimentación principal esté desconectada.
- Utilizar el EPP (Equipo de Protección Personal) para ejecutar mantenimiento o modificaciones en el sistema del módulo.
- Es recomendable cerrar la puerta frontal del módulo para evitar contactos eléctricos.

Anexo B: Manual de Mantenimiento

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO	
MANUAL DE MANTENIMIENTO		
TEMA: PROCESOS DE MANTENIMIENTO PARA EL TABLERO ELÉCTRICO		
Nombre del equipo:	Modulo didáctico para la simulación de maniobras	
Cantidad:	1	
Voltaje:	120 V	
En operación:	Si	
Manual de operación:	Si	
Función que desempeña el equipo		
Permite la simulación de maniobras de una subestación eléctrica y tiene un sistema de control local y remoto		

Proceso:	1. Planificación
Descripción:	Se debe considerar diversos factores de planificación previo a la realización del mantenimiento del equipo como: <ul style="list-style-type: none"> • personal técnico • tipo de mantenimiento • prioridad del equipo • fecha de ejecución
Unidad:	Laboratorio de control – CIELE
Responsable:	Jefe de Mantenimiento

Proceso:	2. Observación
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar el equipo. • Verificar el estado del equipo. • Determinar elementos del equipo que requieren mantenimiento o necesitan ser reemplazados.
Unidad:	Laboratorio de control – CIELE
Responsable:	Jefe de Mantenimiento

Proceso:	3. Ejecución mantenimiento		
Descripción:	Tipo	Frecuencia	Tareas de mantenimiento
	Predictivo	Mensual	<ul style="list-style-type: none"> • Visualizar el estado del equipo. • Determinar sonidos o vibraciones en el equipo. • Realizar mediciones de corriente y voltaje en las borneras del equipo.
	Preventivo	Anual	<ul style="list-style-type: none"> • Ajustar contactos, tornillos o piezas flojas si es necesario • Reemplazar terminales en las conexiones de los equipos. • Revisar los contactos de la alimentación principal. • Comprobar el estado de las luces indicadoras y selectores.
Unidad:	Laboratorio de control – CIELE		
Responsable:	Jefe de Mantenimiento		

Nota:	<p>Para la ejecución del mantenimiento es importante tomar en cuenta las 5 reglas de oro:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Desconectar con corte visible. 2. Bloqueo y señalización de las fuentes de alimentación. 3. Comprobar la ausencia de tensión. 4. Utilizar puesta tierra y cortocircuitar. 5. Delimitar y señalizar la zona de trabajo.
--------------	---

Proceso:	4. Comprobación
Descripción:	En este paso se verifica el cumplimiento de los procesos que se determinaron anteriormente y se corrobora que durante el desarrollo no se presentaron novedades.
Unidad:	Laboratorio de control – CIELE
Responsable:	Jefe de Mantenimiento

Anexo C: Manual de Prácticas



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Práctica #:

1

Tema:

Identificación de elementos de un
simulador de maniobras de una
subestación

Integrantes:

Fecha de realización de
la práctica:

año

mes

día

Observaciones: _____

Fecha de entrega del
informe:

año

mes

día

Observaciones: _____

Periodo:

☐

Abril – Agosto

☐

Octubre – Febrero

1. Objetivo General

Identificar físicamente los elementos que intervienen en el tablero de control para la simulación de maniobras de una subestación, además conocer conceptos básicos de su funcionamiento.

2. Objetivos Específicos

- Indagar conceptos acerca del funcionamiento de los elementos que conforman el tablero de simulación de maniobras.
- Identificar cada tipo de elemento y la función que realizan en el tablero control para la simulación de maniobra de una subestación.

3. Materiales y equipos

4. Introducción

(El estudiante deberá realizar una previa investigación bibliográfica, que le permita adquirir los conocimientos teóricos necesarios, acerca de un tablero de control para simulación de maniobras.)

5. Trabajo preparatorio

Al ser una práctica de laboratorio sobre la familiarización y reconocimiento de los elementos que conforman un tablero de control para la simulación de maniobras de una subestación eléctrica, se deberá realizar los ejercicios planteados en el informe, de acuerdo a los conceptos investigados.

Temas que evaluar:

- Reconocimiento de elementos.
- Características y función que desempeña cada elemento.

- Adquirir conocimientos sobre su función en forma local y remota.
- Conclusiones
- Recomendaciones

6. Desarrollo

6.1. Conceptos básicos acerca del control local y remoto en una subestación.

- Control local:

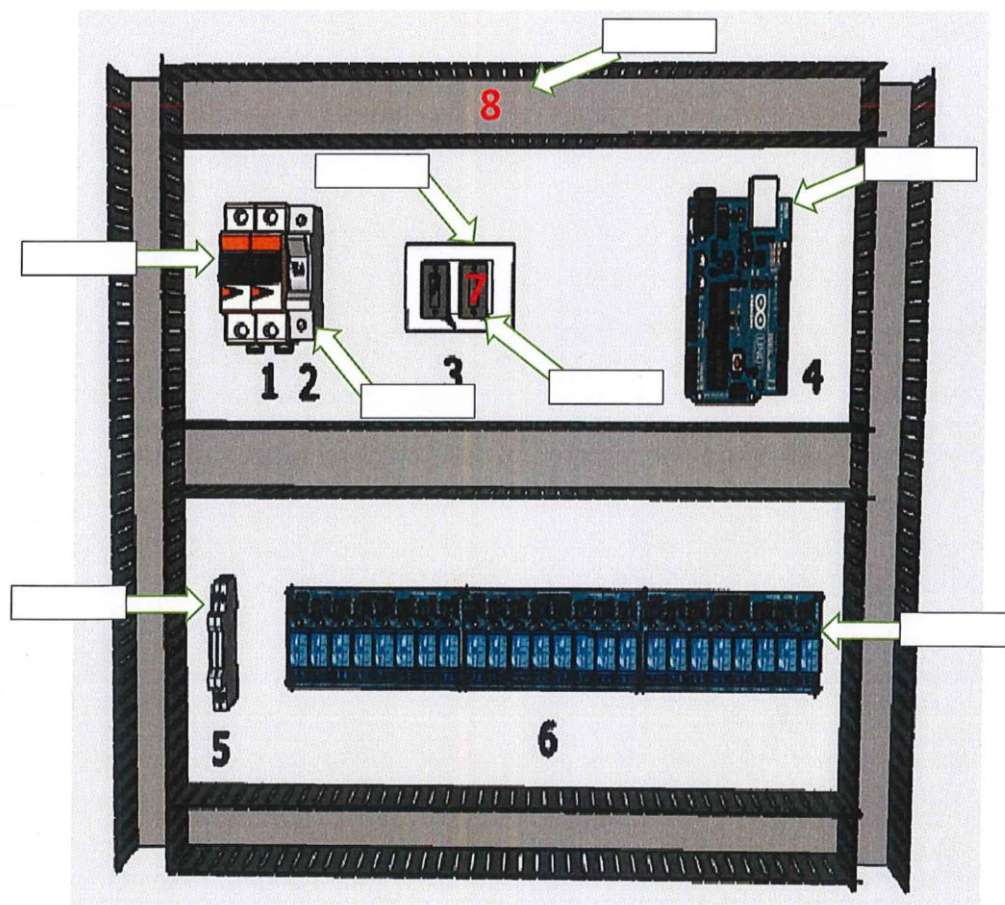
- Control remoto:

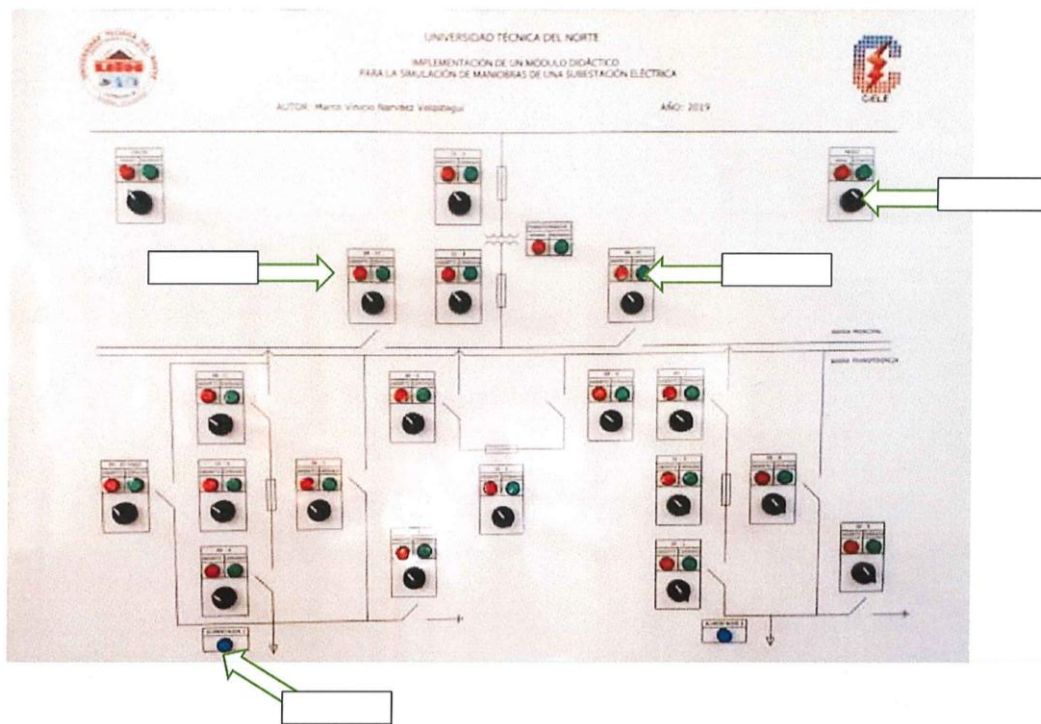
6.2. ¿Qué es y cómo funciona un tablero de control para la simulación de maniobras de una subestación eléctrica?

6.3. ¿Cuál es la función principal de los relés en el tablero de simulación de maniobras?

6.4. Realización y descripción del diagrama de control del tablero de simulación de maniobras.

6.5. En el siguiente grafico identifique los elementos y describa la función que desempeñan en el tablero de simulación de maniobras de una subestación eléctrica.





7. Conclusiones

8. Recomendaciones

9. Bibliografía y Linkografía

- (Documento escrito de tesis)
- (Bibliografía indagada por el estudiante)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Práctica #: 2

Tema: Programación para el funcionamiento del
tablero simulación de maniobras de una
subestación eléctrica con el software Arduino y
LabVIEW

Integrantes:

Fecha de realización de
la práctica:

año mes día

Observaciones: _____

Fecha de entrega del
informe:

año mes día

Observaciones: _____

Periodo:

☐ **Abril – Agosto**

☐ **Octubre – Febrero**

1. Objetivo General

Adquirir conocimientos y destrezas de programación en C utilizando el software Arduino para crear secuencias y condiciones que permitan simular maniobras de conexión y desconexión de los elementos de mando y corte de una subestación eléctrica.

2. Objetivos Específicos

- Conocer acerca de los dispositivos que intervienen en la comunicación Arduino – Ordenador (LabVIEW).
- Determinar la función que cumplen las palabras de lenguaje C en la programación de secuencias de conexión y desconexión de los elementos de mando y corte de la subestación.

3. Materiales y equipos

4. Introducción

(El estudiante deberá realizar una previa investigación bibliográfica, que le permita adquirir los conocimientos teóricos necesarios, acerca de programación en C, comunicación controlador Arduino -LabVIEW.)

5. Trabajo preparatorio

Al ser una práctica de laboratorio sobre la programación en C y un lenguaje de programación visual gráfico del tablero de control para la simulación de maniobras de una subestación, se deberá realizar los ejercicios planteados en el informe, de acuerdo a los conceptos investigados.

Temas que evaluar:

- Comunicación maestra – esclavo.

- Comunicación serial en Arduino.
- Aprendizaje de lenguaje C y visual grafico para la programación.
- Conclusiones
- Recomendaciones

6. Desarrollo

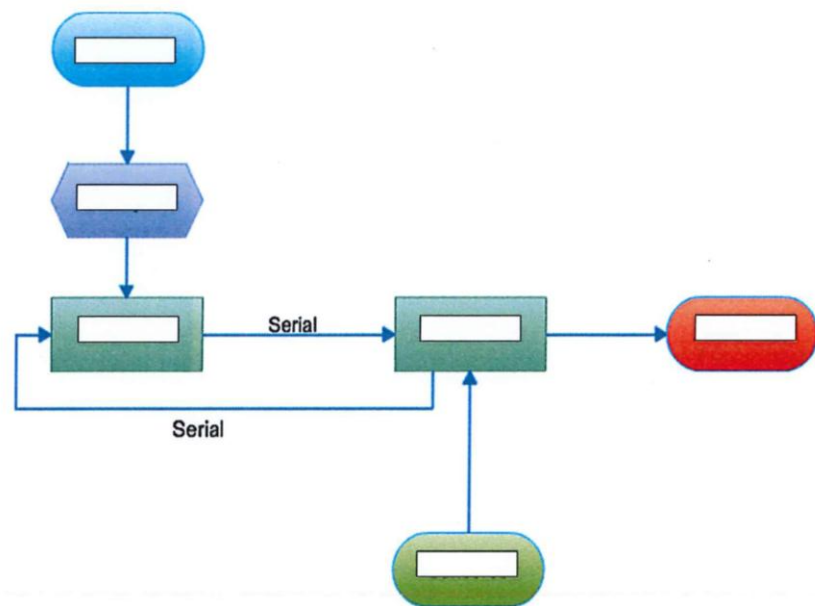
6.1. Conceptos sobre la comunicación maestro – esclavo

6.2. ¿Qué es el software Arduino?

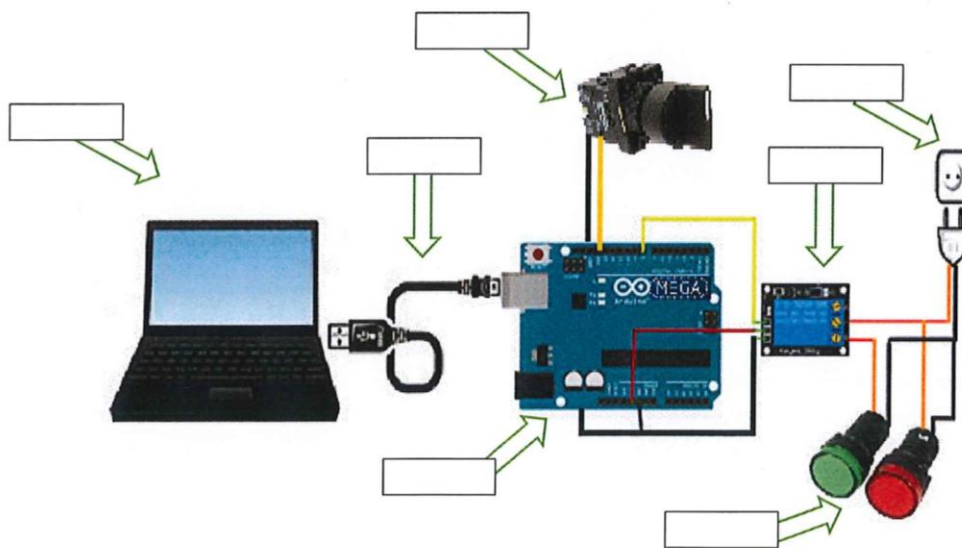
6.3. ¿Qué es el software LabVIEW?

6.4. ¿Qué tipo de comunicación se usa entre el controlador Arduino y el ordenador (LabVIEW)?

6.5. Complete el organizador grafico acerca de la comunicación Arduino – LabVIEW



6.6. Según el grafico siguiente identifique los siguientes elementos que intervienen en la comunicación serial.



6.7. Identificación y descripción de las señales entrada y salida del controlador Arduino.

Tabla 1. Entrada Selectores

P	C
	A
	Modo Funcionamiento
	P1
	B
	P2
	C
	G
	H
	J
	By – Pass
	D
	F
	I
	K
	E
	M
	N
	L
	O

P: pin de lectura
C: código

Tabla 2. Salidas Relés (Luces)

P	C
	A
	B
	C
	D
	E

P: pin de lectura
C: código

	F
	G
	H
	I
	J
	K
	L
	M
	N
	O
	By- Pass
	P1
	P2
	Alim. 1
	Alim. 2
	Inicio
	Modo
	Funcionamiento
	Transformador

6.8. Describa la función que cumplen las siguientes palabras o comandos de lenguaje C en la programación.

<pre> boolean Alimentadores[2] = {1, 1}; byte Neutros[2] = {0, 0}; byte Neutro[5] = {0, 0, 0, 0, 0}; byte Saltos[5] = {5, 5, 5, 6, 6}; boolean modo = 1; /* 0 = Automático 1 = Manual */ /**Variables de lectura de interruptores*/ int buttonState[19]; int lastButtonState[19]; unsigned long lastDebounceTime[19]; unsigned long debounceDelay = 50; byte reading[19]; boolean stringComplete = false; char v[6]; char vl[6]; byte j = 0; int tiempo = 500; char c, estado; boolean habilitar = 0; boolean alarma = 0; byte contA = 0; byte maxA = 0; </pre>	
---	--

```

void setup()
{
  Serial.begin(57600);

  /* Configuración de pines digitales***** */
  for (byte i = 0; i < 24; i++)
    pinMode(pin_wr[i], OUTPUT);
  for (byte i = 0; i < 19; i++)
    pinMode(pin_rd[i], INPUT_PULLUP);

  /* Condiciones iniciales de sistema***** */
  for (byte i = 0; i < 24; i++)
  {
    digitalWrite(pin_wr[i], 1 - condicion_inicial[i]);
    delay(1);
  }

  delay(500);
  digitalWrite(49, 0); //Modo de funcionamiento

  /* Configuración de temporizador***** */
  Timer1.initialize(100000);
  Timer1.attachInterrupt(timerIsr);
}

```

```

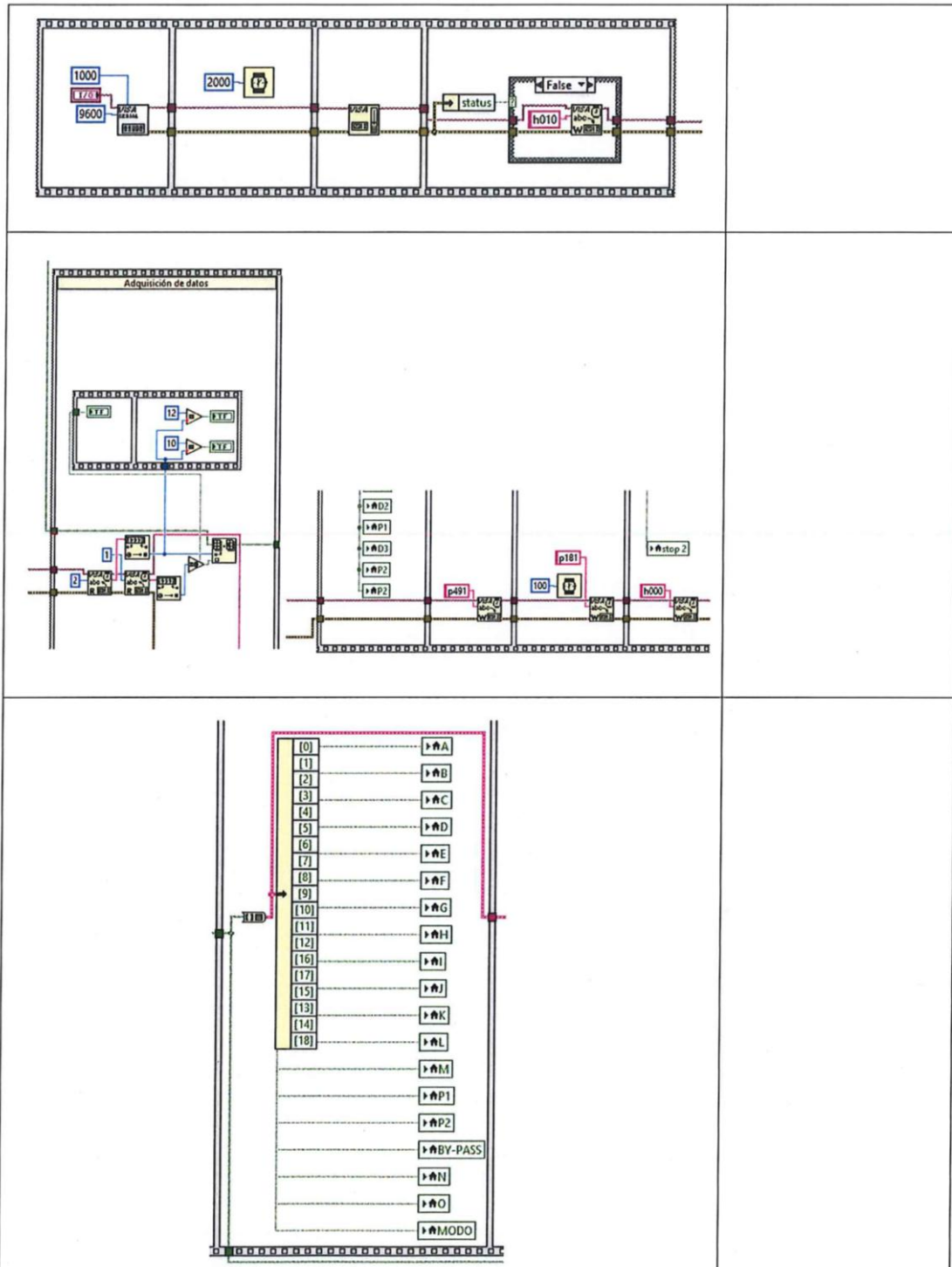
void loop()
{
  for (byte i = 0; i < 19; i++)
    lectura(i);
  if (stringComplete)
  {
    stringComplete = false;
    switch (v[0])
    {
      case 'h':
        habilitar = v[2] - 48;
        digitalWrite(53, 1 - habilitar);
        break;
      case 'p':
        byte pin_w = (v[1] - 48) * 10 + v[2] - 48;
        byte state_w = v[3] - 48;
        if (pin_w == 18) //Modo de funcionamiento
        {
          modo = state_w;
          digitalWrite(49, modo);
        }

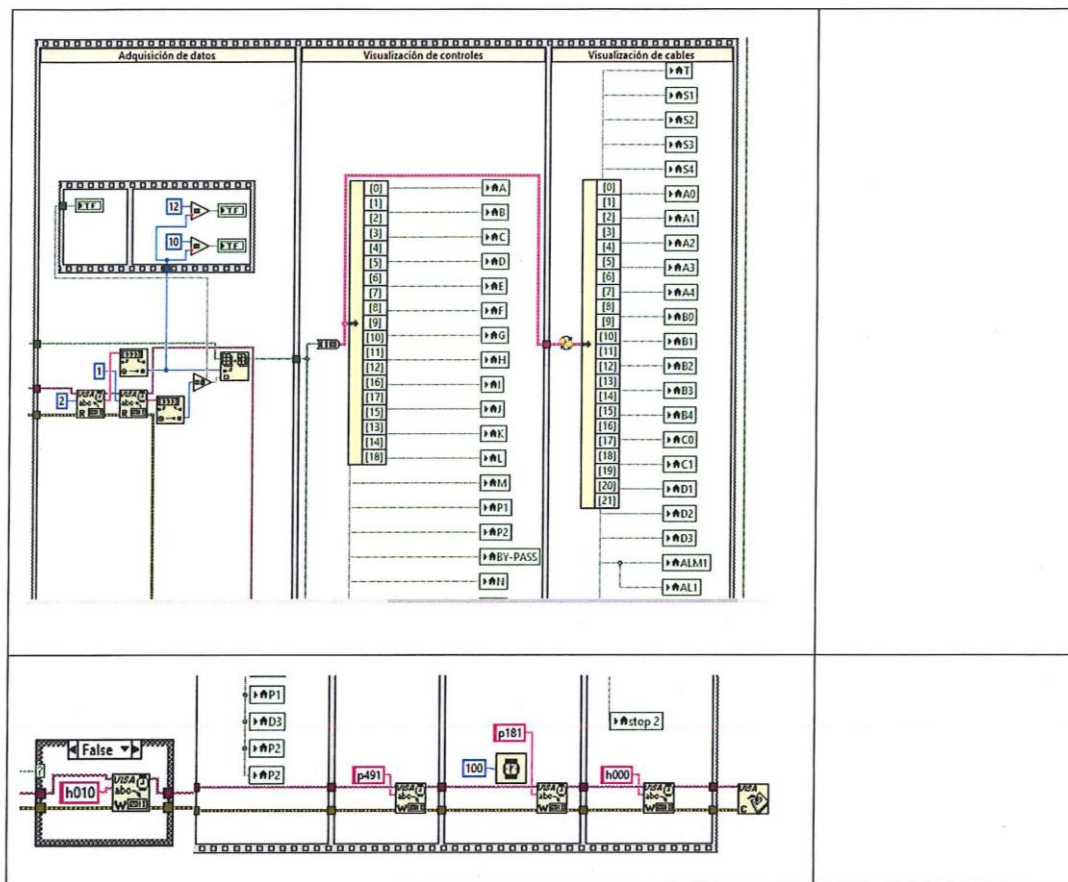
        lecturaS(pin_w, state_w);
        break;
    }
  }
}

```


<pre> void timerIsr() { if (alarma) { digitalWrite(pin_wr[23], 0); alarma = 0; } else { digitalWrite(pin_wr[23], 1); } } void serialEvent() { while (Serial.available()) { v[j] = (char)Serial.read(); j++; if (j == 4) { for (byte k = 0; k < 6; k++) vl[k] = v[k]; stringComplete = true; j = 0; } } } </pre>	
<pre> void lectura(byte pin) { reading[pin] = digitalRead(pin_rd[pin]); //Lectura del if (reading[pin] != lastButtonState[pin]) lastDebounceTime[pin] = millis(); if ((millis() - lastDebounceTime[pin]) > debounceDelay) { if (reading[pin] != buttonState[pin]) //Detección de c { buttonState[pin] = reading[pin]; //Actualización de if (pin == 18) { modo = buttonState[18]; digitalWrite(49, modo); Serial.print("a01"); if (pin < 10) Serial.print('0'); Serial.print(pin); Serial.print(buttonState[18]); </pre>	

6.9. Describa la función que cumplen los siguientes cuadros de lenguaje de programación visual gráfico de LabVIEW.





7. Conclusiones

8. Recomendaciones

9. Bibliografía y Linkografía

- (Documento escrito de tesis)
- (Bibliografía indagada por el estudiante)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Práctica #: 3

Tema: Funcionamiento del tablero simulación de
maniobras de una subestación eléctrica con su
control local.

Integrantes:

Fecha de realización de
la práctica:

 / /
año mes día

Observaciones: _____

Fecha de entrega del
informe:

 / /
año mes día

Observaciones: _____

Periodo:

☐ **Abril – Agosto**

☐ **Octubre – Febrero**

1. Objetivo General

Adquirir conocimientos y destrezas en el uso del control local para simular maniobras de conexión y desconexión de los elementos de mando y corte de una subestación eléctrica.

2. Objetivos Específicos

- Conocer las características de conexión y desconexión de los elementos que intervienen en una subestación.
- Determinar las secuencias de conexión y desconexión de los elementos de mando y corte de la subestación para ejecutar correctamente las maniobras.

3. Materiales y equipos

4. Introducción

(El estudiante deberá realizar una previa investigación bibliográfica, que le permita adquirir los conocimientos teóricos necesarios, acerca de la operación de elementos de corte - mando y de maniobras de conexión y desconexión en una subestación eléctrica.)

5. Trabajo preparatorio

Al ser una práctica de laboratorio sobre el control local del tablero de control para la simulación de maniobras de una subestación, se deberá realizar los ejercicios planteados en el informe, de acuerdo a los conceptos investigados.

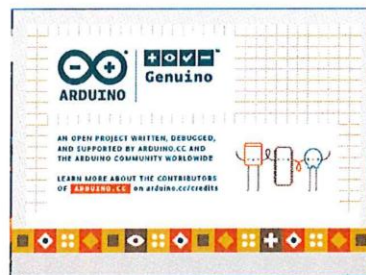
Temas que evaluar:

- Características y función que desempeña cada elemento de corte y mando.
- Determinar las configuraciones presentes en la subestación.
- Secuencias y condiciones de las maniobras.
- Funcionamiento del tablero de control de forma local.
- Conclusiones
- Recomendaciones

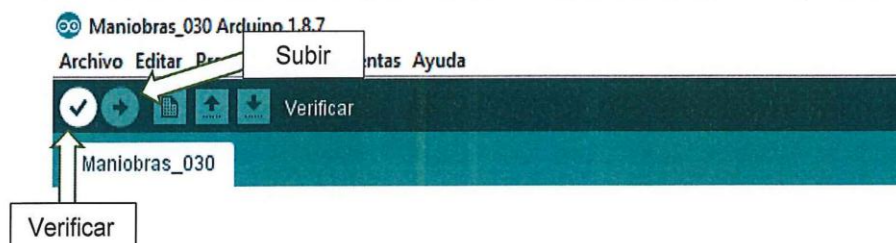
6. Desarrollo

6.1. Pautas para el funcionamiento del tablero de simulación de maniobras con su forma local.

- a) Activación general del tablero de simulación de maniobras de una subestación eléctrica.
 1. Conectar la alimentación principal de 110 a 120 V en corriente alterna.
 2. Verificar en el módulo didáctico la activación del breaker principal.
 3. Maniobrar el selector de inicio a la posición de encendido.
 4. Revisar que todas las luces indicadoras del tablero estén encendidas.
- b) Gravar el código de programación en el controlador Arduino Mega desde el ordenador del módulo didáctico, esto se debe realizar mediante el software Arduino, en el caso que se desee trabajar desde otro ordenador se puede descargar gratuitamente desde la plataforma Arduino.



- c) Una vez iniciado el programa o instalado correctamente se abrirá el código de programación el cual deberá ser verificado y subido al Arduino Mega.



- d) Ya subida la programación al controlador se procede a comprobar que el tablero de control funcione correctamente.

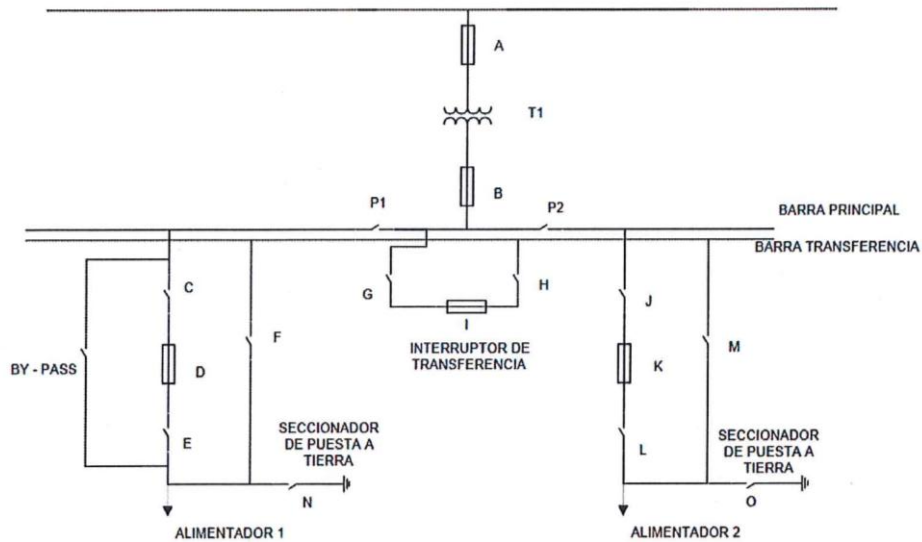
6.2. ¿Qué son y cómo funcionan los elementos de corte y mando de una subestación eléctrica?

- Interruptor:

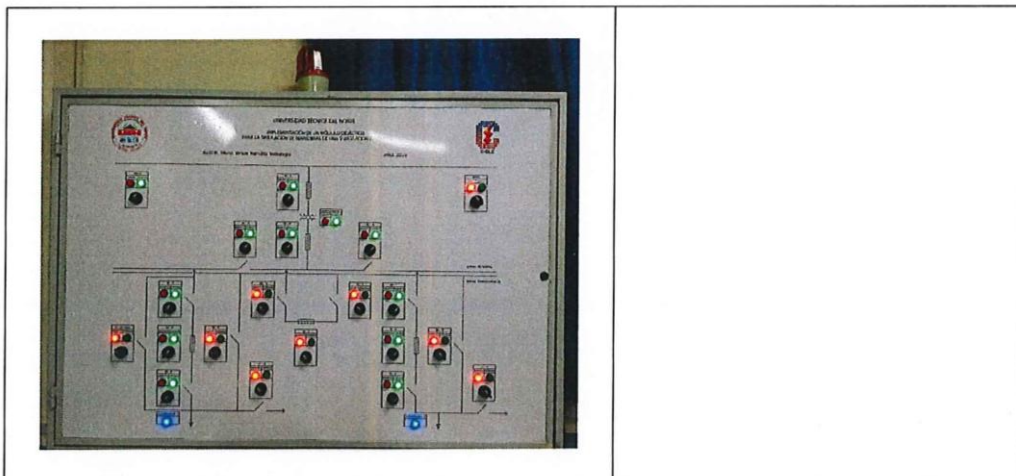
 - Seccionador:

 - Seccionador de puesta a tierra:
-

- 6.3. Maniobras de conexión y desconexión que se pueden realizar en la siguiente configuración de la subestación eléctrica.



- 6.4. Describa los pasos para ejecutar las maniobras de: conexión y desconexión del Alimentador 1 y Alimentador 2, la activación de la barra de transferencia en su modo de funcionamiento local.







7. Conclusiones

8. Recomendaciones

9. Bibliografía y Linkografía

- (Documento escrito de tesis)
- (Bibliografía indagada por el estudiante)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Práctica #: 4

Tema: Funcionamiento del tablero simulación de
maniobras de una subestación eléctrica con su
monitoreo de forma remota.

Integrantes:

Fecha de realización de
la práctica:

 / /
año mes día

Observaciones: _____

Fecha de entrega del
informe:

 / /
año mes día

Observaciones: _____

Periodo:

☐ **Abril – Agosto**

☐ **Octubre – Febrero**

1. Objetivo General

Implementación de sistema SCADA para la simulación de maniobras utilizando el software LabVIEW.

2. Objetivos Específicos

- Obtener conocimientos teóricos – prácticos acerca de la comunicación Arduino – LabVIEW para la creación del sistema SCADA.
- Diseño y programación SCADA en LabVIEW para el monitoreo y control del tablero de simulación de maniobras de una subestación eléctrica.

3. Materiales y equipos

4. Introducción

(El estudiante deberá realizar una previa investigación bibliográfica, que le permita adquirir los conocimientos teóricos necesarios, acerca de la comunicación Arduino – LabVIEW, arquitectura SCADA, operación de elementos de corte - mando y de maniobras de conexión y desconexión en una subestación eléctrica.)

5. Trabajo preparatorio

Al ser una práctica de laboratorio sobre el control remoto mediante el sistema SCADA del tablero de la simulación de maniobras de una subestación, se deberá realizar los ejercicios planteados en el informe, de acuerdo a los conceptos investigados.

Temas que evaluar:

- Comunicación Arduino - LabVIEW
- Diseño y programación en el software SCADA - LabVIEW
- Secuencias y condiciones de las maniobras.

- Funcionamiento del tablero de control de forma remota
- Conclusiones
- Recomendaciones

6. Desarrollo

6.1. ¿Qué es el software LabVIEW?

6.2. ¿Cuáles son los tipos de variables y datos en LabVIEW?

6.3. ¿Qué beneficios brinda crear un sistema SCADA con el software LabVIEW?

6.4. Describa los pasos que se debe seguir para la comunicación del sistema SCADA

6.5. Explique algunos bloques de programación en LabVIEW que permiten el funcionamiento remoto del tablero de simulación de maniobras.

6.6. Pasos para el funcionamiento del tablero de simulación de maniobras con su modo de funcionamiento remoto.

a) Activación general del tablero de simulación de maniobras de una subestación eléctrica.

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

6.7. ¿Qué son y cómo funcionan los elementos de corte y mando en la subestación eléctrica con su modo de funcionamiento remoto?

6.8. Describa las funciones que brindan las pantallas HMI del sistema SCADA.

6.9. Describa y realice los pasos para ejecutar las maniobras de: conexión y desconexión del Alimentador 1 y Alimentador 2, la activación de la barra de transferencia en su modo de funcionamiento remoto.

Evidencia	Secuencia de operación

--	--

7. Conclusiones

8. Recomendaciones

9. Bibliografía y Linkografía

- (Documento escrito de tesis)
- (Bibliografía indagada por el estudiante)

Anexo D: Medida de tableros según la norma INEN

8. REQUISITOS

8.1 Requisitos específicos

8.1.1 Los tableros, gabinetes, cajas de paso, cajas de alumbrado, racks y accesorios de rack, deben cumplir con los requisitos de la presente norma y de la NTE INEN 2 569.

8.1.2 *Requisitos dimensionales:*

8.1.2.1 Tableros

- a) Los tableros deben cumplir con las dimensiones indicadas en la tabla 2.
- b) Debido a la compleja construcción de los tableros, es necesario utilizar distintos espesores de materiales para zonas específicas de los mismos, se deben construir en acero según se detalle en la tabla 1.
- c) La placa de montaje o doble fondo se puede tener en dos versiones que cubren las diferentes opciones de montaje.
- c.1) Placa de montaje de una sola pieza debe ser de 2 mm de espesor con una tolerancia de -10%.
- c.2) Placa de montaje seccionada debe ser de 1,5 mm de espesor con una tolerancia de -10%.

TABLA 1. Detalle de los materiales y espesores

PARTE	MATERIAL	ESPESOR* (en mm)
ESTRUCTURA	Plancha de acero laminado en frío	2,0
PUERTA FRONTAL	Plancha de acero laminado en frío	1,5
TAPAS LATERALES	Plancha de acero laminado en frío	1,2
PARANTES	Plancha de acero laminado en frío	2,0
PISO	Plancha de acero laminado en frío	1,5
*Las especificaciones de los espesores mínimos de los tableros indicados tendrán una tolerancia de -10%		

TABLA 2. Dimensiones de los tableros

Altura (H0) mm	Ancho (A0) mm	Profundidad (P0) mm
1 200	600	400
1 200	800	400
1 600	800	400
1 600	800	600
1 600	600	600
1 600	600	400
1 800	800	600
1 800	600	600
2 000	800	600
2 000	600	600
2 000	1 000	600
*Las especificaciones de dimensiones tendrán una tolerancia de $\pm 1\%$		

Anexo E: Diseño y construcción del módulo didáctico.

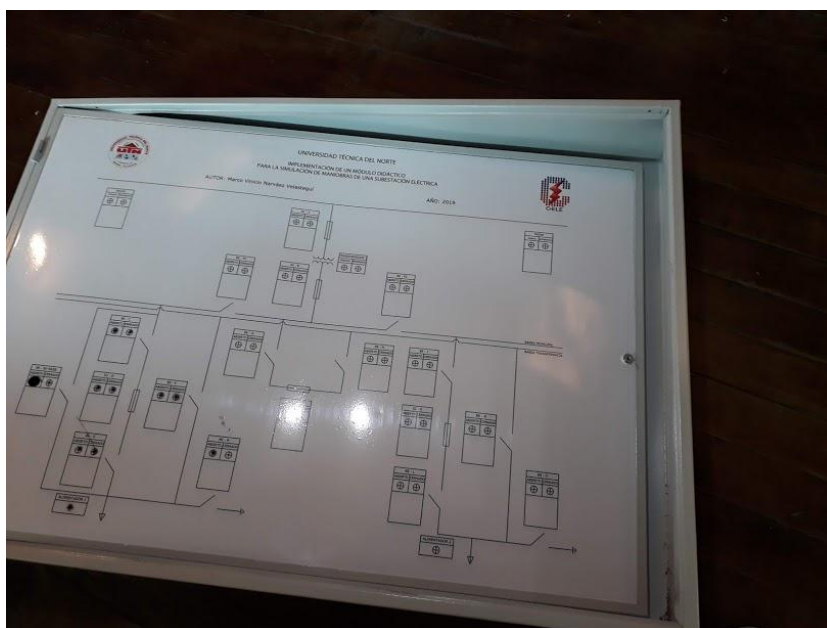


Figura 85. Elaboración y limpieza de agujeros

Fuente: Autor



Figura 86. Ubicación de todos los elementos en la parte frontal

Fuente: Autor

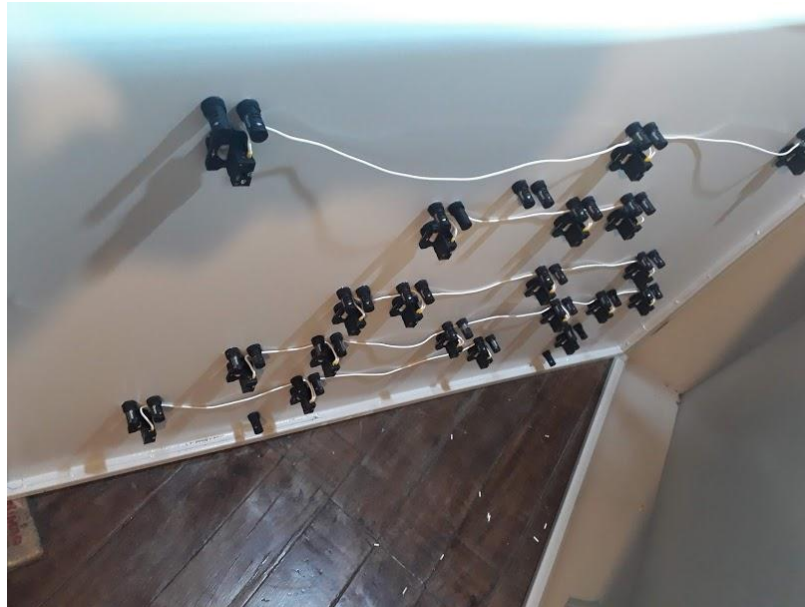


Figura 87. Conexión común neutro

Fuente: Autor

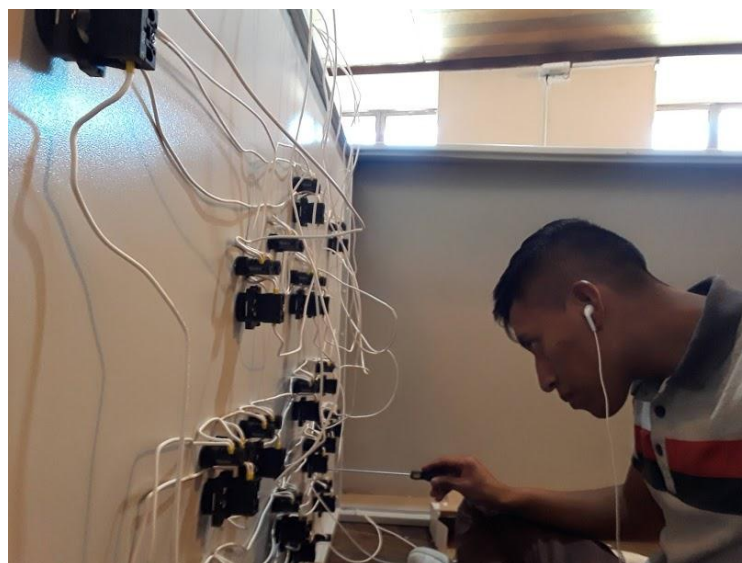


Figura 88. Colocación de cables en selectores y luces indicadoras

Fuente: Autor



Figura 89. Herramientas para colocar terminales tubulares en conductores

Fuente: Autor



Figura 90. Medición del cableado hacia los elementos de control y protección

Fuente: Autor

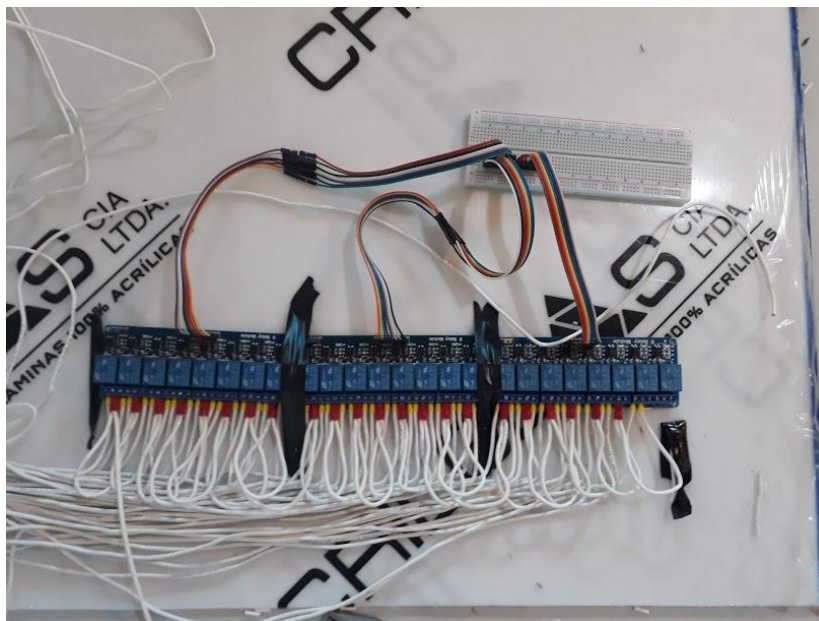


Figura 91. Conexión de las luces indicadoras en las salidas de los módulos de relés

Fuente: Autor



Figura 92. Perforación de la lámina acrílica

Fuente: Autor

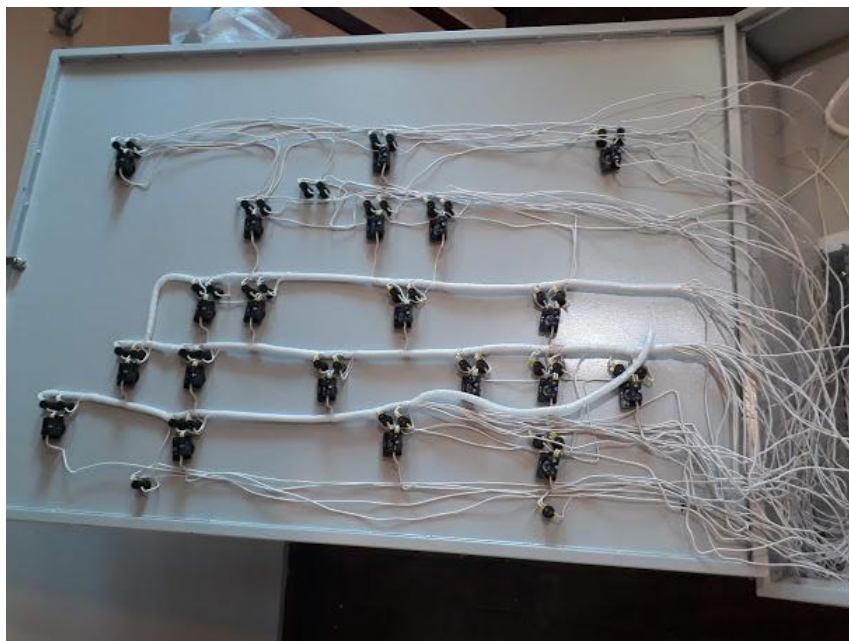


Figura 93. Colocación de manguera espiral de 1/2" en los conductores

Fuente: Autor



Figura 94. Colocación de soportes para la sujeción del cableado

Fuente: Autor



Figura 95. Colocación de manguera 3/4"

Fuente: Autor



Figura 96. Soldadura de pines para entradas, salidas, voltajes DC en la placa de control

Fuente: Autor



Figura 97. Colocación de las tapas de cada canaleta

Fuente: Autor

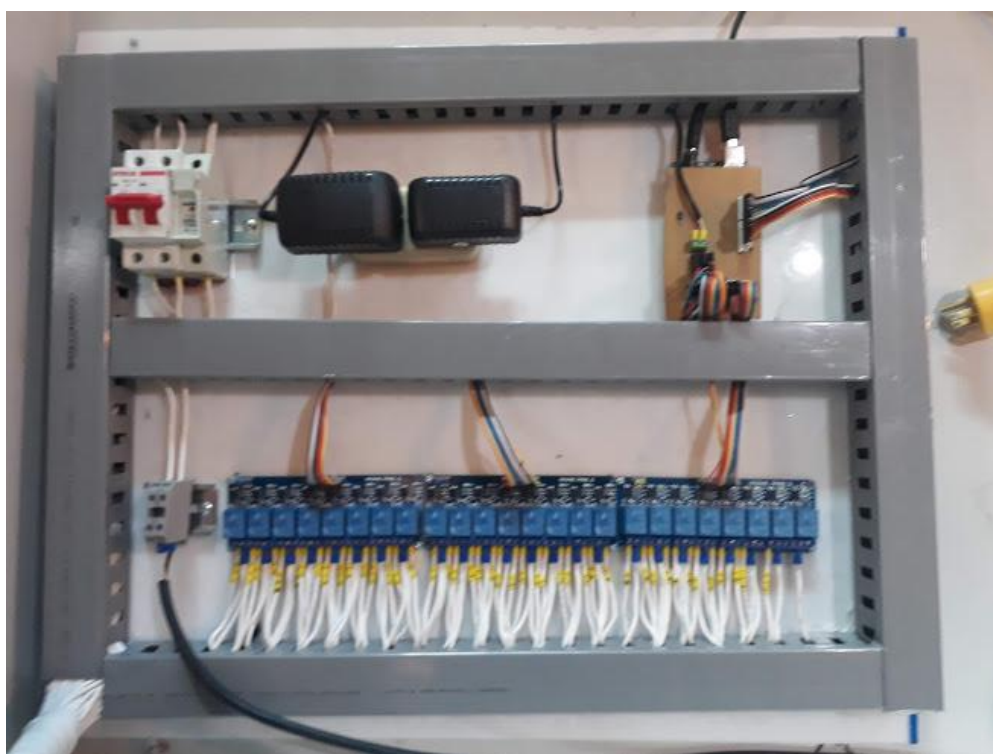


Figura 98. Elementos de control y protección

Fuente: Autor

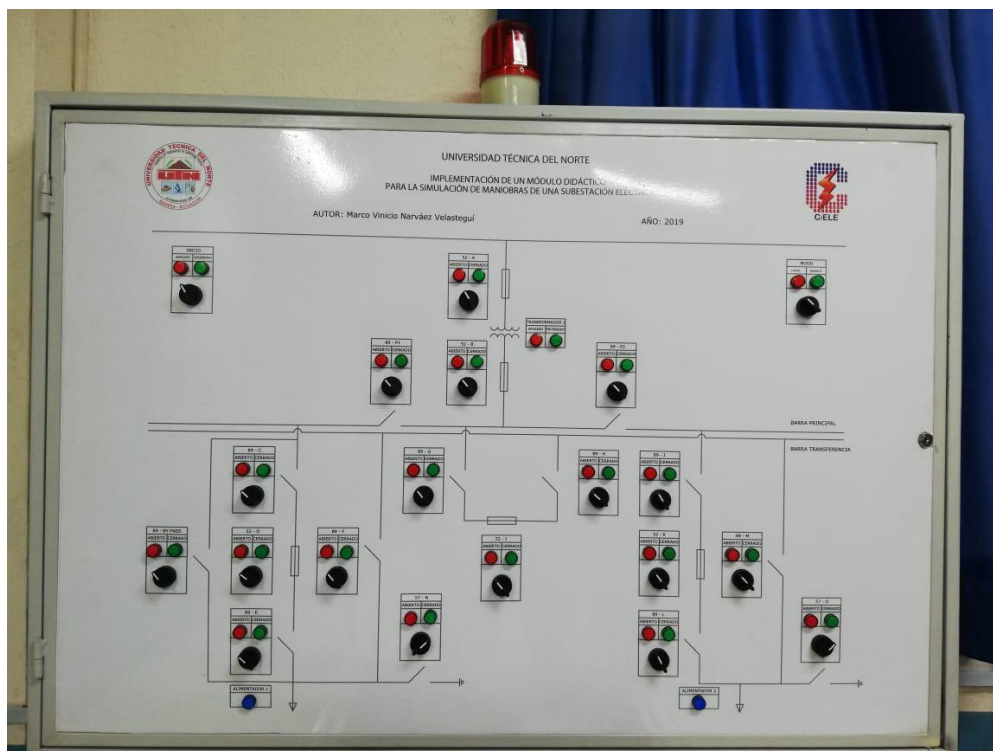


Figura 99. Tablero de simulación de maniobras modo apagado

Fuente: Autor

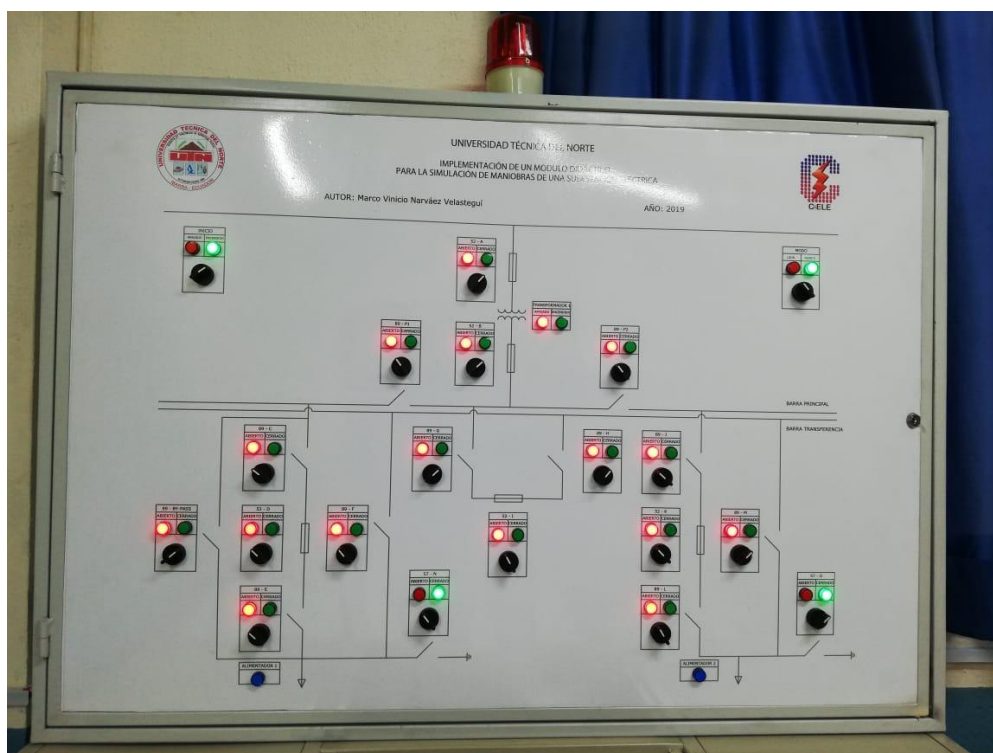


Figura 100. Alimentación del tablero de simulación de maniobras.

Fuente: Autor

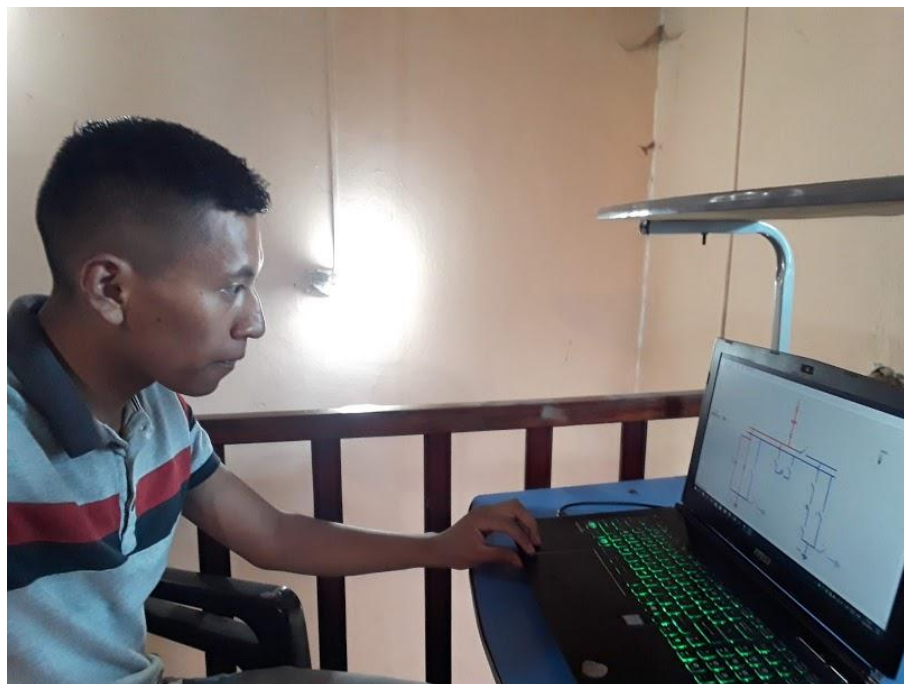


Figura 101. Monitoreo de la subestación

Fuente: Autor

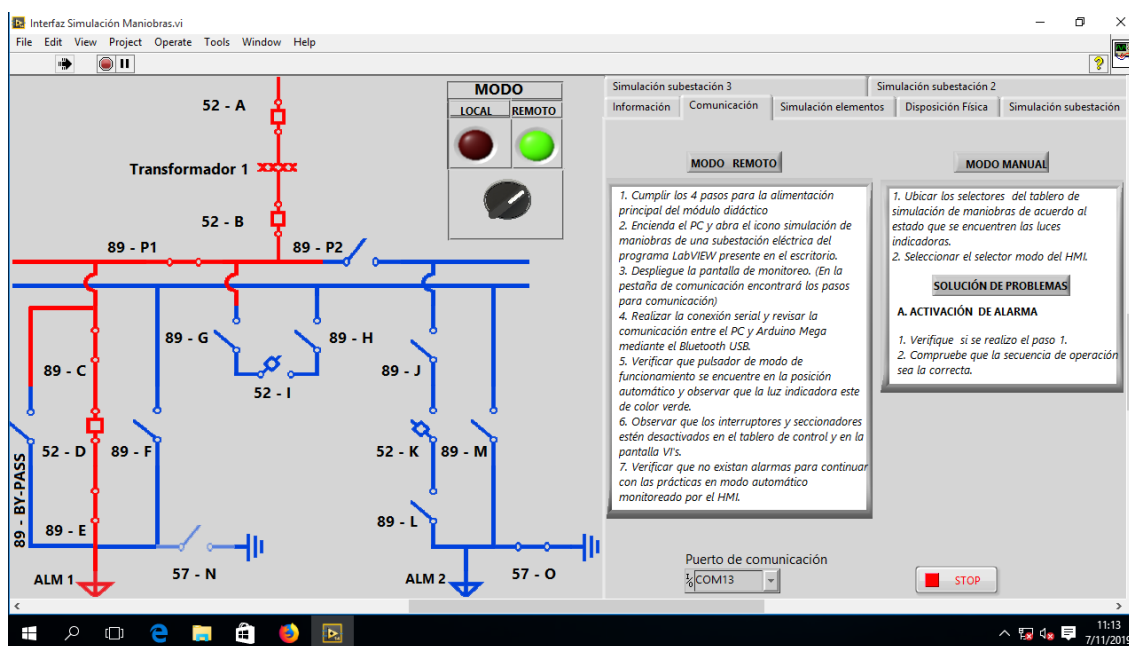


Figura 102. HMI del sistema SCADA

Fuente: Autor

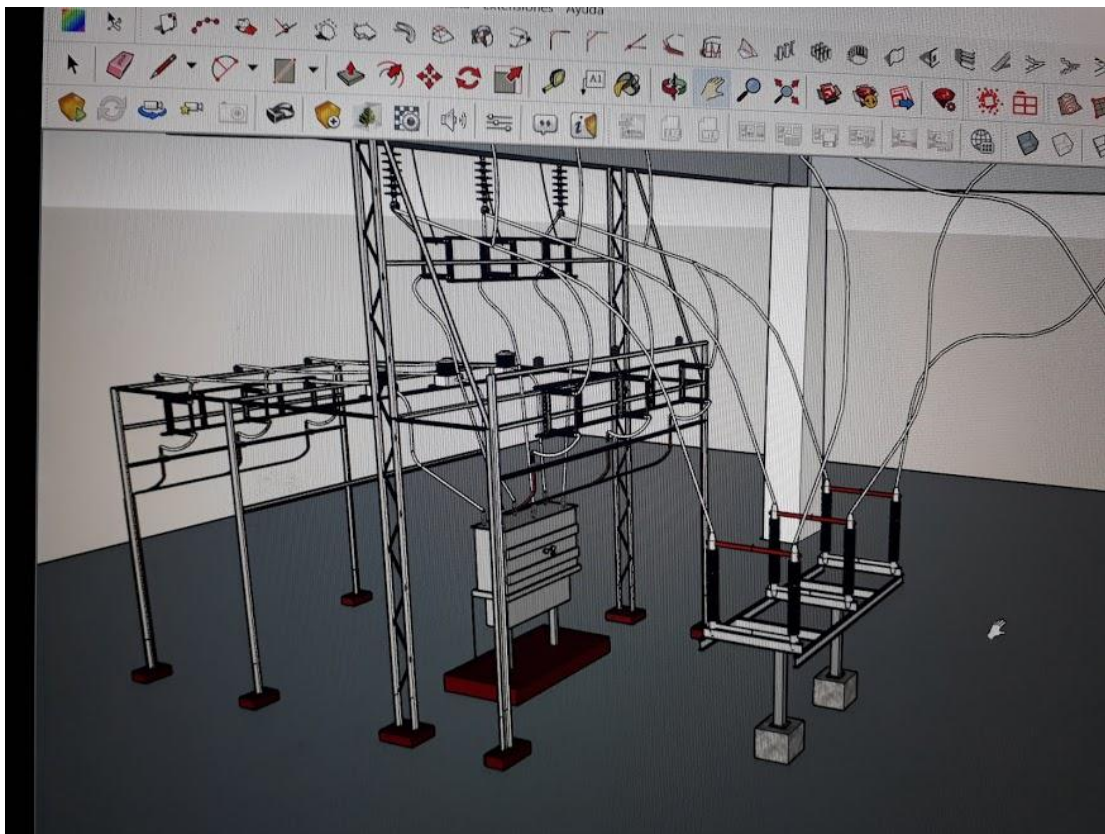


Figura 103. Simulación de la subestación en patio.

Fuente: Autor



Figura 104. Mesa para ordenador y modulo didáctico.

Fuente: Autor



Figura 105. Mouse y teclado inalámbricos.

Fuente: Autor



Figura 106. CPU con adaptador inalámbrico y adaptador bluetooth USB

Fuente: Autor

Anexo F: Códigos ANSI

DESCRIPCION DE LOS NUMEROS ANSI / IEEE

1. **Elemento principal**, es el dispositivo de iniciación, tal como el interruptor de control, relé de tensión, interruptor de flotador, etc., que sirve para poner el aparato en operación o fuera de servicio, bien directamente o a través de dispositivos, tales como relés de protección con retardo.
2. **Relé de cierre o arranque temporizado**, es el que da la temporización deseada entre operaciones de una secuencia automática o de un sistema de protección, excepto cuando es proporcionado específicamente por los dispositivos 48, 62 y 79 descritos más adelante.
3. **Relé de comprobación o de bloqueo**, es el que opera en respuesta a la posición de un número de condiciones determinadas, en un equipo para permitir que continúe su operación, para que se pare o para proporcionar una prueba de la posición de estos dispositivos o de estas condiciones para cualquier fin.
4. **Contacto principal**, es un dispositivo generalmente mandado por el dispositivo N° 1 o su equivalente y los dispositivos de permiso y protección necesarios, y sirve para cerrar y abrir los circuitos de control necesarios para reponer un equipo en marcha, bajo las condiciones deseadas o bajo otras condiciones anormales.
5. **Dispositivo de parada**, es aquel cuya función primaria es quitar y mantener un equipo fuera de servicio.
6. **Interruptor de arranque**, es un dispositivo cuya función principal es conectar la máquina a su fuente de tensión de arranque.
7. **Interruptor de ánodo**, es el utilizado en los circuitos del ánodo de un rectificador de potencia, principalmente para interrumpir el circuito rectificador por retorno del encendido de arco.
8. **Dispositivo de desconexión de energía de control**, es un dispositivo de desconexión (tal como un conmutador de cuchilla, interruptor o bloque de fusibles extraíbles) que se utiliza con el fin de conectar y desconectar, respectivamente, la fuente de energía de control hacia y desde la barra o equipo de control.

Nota. - se considera que la energía de control incluye la energía auxiliar que alimenta aparatos pequeños como motores calefactores.
9. **Dispositivo de inversión**, es el que se utiliza para invertir las conexiones del campo de una máquina o bien para otras funciones especiales de inversión.
10. **Conmutador de secuencia**, es el que se utiliza para cambiar la secuencia de conexión o desconexión de unidades de un equipo de unidades múltiples.
11. **Reservado para aplicaciones futuras.**
12. **Dispositivo de exceso de velocidad**, es normalmente un interruptor de velocidad de conexión directa que actúa cuando la máquina embala.
13. **Dispositivo de velocidad síncrona**, es el que funciona con aproximadamente la velocidad normal de una máquina, tal como un conmutador de velocidad centrífuga, relés de frecuencia de deslizamiento, relé de tensión, relé de intensidad mínima o cualquier tipo de dispositivo similar.
14. **Dispositivo de falta de velocidad**, es el que actúa cuando la velocidad de la máquina desciende por debajo de un valor predeterminado.
15. **Dispositivo regulador de velocidad o frecuencia**, de una máquina o sistema a un cierto valor o bien entre ciertos límites.
16. **Reservado para aplicaciones futuras.**
17. **Conmutador para puentear el campo serie**, sirve para abrir y cerrar un circuito en shunt entre los extremos de cualquier pieza o aparto (excepto una resistencia) tal como el campo de una máquina un condensador o una reactancia.

51. **Relé de sobreintensidad temporizado**, es un relé con una característica de tiempo inverso o de tiempo fijo que funciona cuando la intensidad de un circuito de c.a. sobrepasa un valor dado.
52. **Interruptor de c.a.** es el que se usa para cerrar e interrumpir un circuito de potencia de c.a. bajo condiciones normales, o para interrumpir este circuito bajo condiciones de falta de emergencia.
53. **Relé de la excitatriz o del generador de c.c.** es el que fuerza un campo de la máquina de c.c. durante el arranque o funciona cuando la tensión de la máquina ha llegado a un valor dado.
54. **Reservado para aplicaciones futuras.**
55. **Relé de factor de potencia** es el que funciona cuando el factor de potencia de un circuito de c.a. no llega o sobrepasa un valor dado.
56. **Relé de aplicación del campo**, es el que se utiliza para controlar automáticamente la aplicación de la excitación de campo de un motor de c.a. en un punto predeterminado en el ciclo de deslizamiento.
57. **Dispositivo de cortocircuito o de puesta a tierra**, es el que funciona debido al fallo de uno o más de los ánodos del rectificador de potencia, o por el fallo de un diodo por no conducir o bloquear adecuadamente.
58. **Relé de fallo de rectificador de potencia**, es el que funciona debido al fallo de uno o más de los ánodos del rectificador de potencia, o por el fallo de un diodo por no conducir o bloquear adecuadamente.
59. **Relé de sobretensión**, es que funciona con un valor dado de sobretensión.
60. **Relé de equilibrio de tensión**, es el que opera con una diferencia de tensión entre dos circuitos.
61. **Relé de parada o apertura temporizada**, es el que se utiliza en unión con el dispositivo que inicia la parada total o la indicación de parada o apertura en una secuencia automática.
62. **Reservado para aplicaciones futuras.**
63. **Relé de presión de gas, líquido o vacío**, es el que funciona con un valor dado de presión del líquido o gas, para una determinada velocidad de variación de la presión.
64. **Relé de protección de tierra**, es el que funciona con el fallo a tierra del aislamiento de una máquina, transformador u otros aparatos, o por contorneamiento de arco a tierra de una máquina de c.c.

Nota: Esta función se aplica sólo a un relé que detecta el paso de corriente desde el armazón de una máquina, caja protectora o estructura de una pieza de aparatos, a tierra, o detecta una tierra en un bobinado o circuito normalmente no puesto a tierra. No se aplica a un dispositivo conectado en el circuito secundario o en el neutro secundario de un transformador o transformadores de intensidad, conectados en el circuito de potencia de un sistema puesto normalmente a tierra.
65. **Regulador mecánico**, es el equipo que controla la apertura de la compuerta o válvula de la máquina motora, para arrancarla, mantener su velocidad o detenerla.
66. **Relé de pasos**, es el que funciona para permitir un número especificado de operaciones de un dispositivo dado o equipo, o bien, un número especificado de operaciones sucesivas con un intervalo dado de tiempo entre cada una de ellas. También se utiliza para permitir el energizado periódico de un circuito, y la aceleración gradual de una máquina.
67. **Relé direccional de sobreintensidad de c.a.** es el que funciona con un valor deseado de circulación de sobreintensidad de c.a. en una dirección dada.
68. **Relé de bloqueo**, es el que inicia una señal piloto para bloquear o disparar en faltas externas en una línea de transmisión o en otros aparatos bajo condiciones dadas, coopera con otros dispositivos a bloquear el disparo o a bloquear el reenganche con una condición de pérdida de sincronismo o en oscilaciones de potencia.

- 88. **Motor o grupo motor generador auxiliar**, es el que se utiliza para accionar equipos auxiliares, tales como bombas, ventiladores, excitatrices, etc.
- 89. **Desconectador de línea**, es el que se utiliza como un desconectador de desconexión o aislamiento en un circuito de potencia de c.a. o c.c. cuando este dispositivo se acciona eléctricamente o bien tiene accesorios eléctricos, tales como interruptores auxiliares, enclavamiento electromagnético, etc.
- 90. **Dispositivo de regulación**, es el que funciona para regular una cantidad, tal como la tensión, intensidad, potencia, velocidad, frecuencia, temperatura y carga a un valor dado, o bien ciertos límites para las máquinas, líneas de unión u otros aparatos.
- 91. **Relé direccional de tensión**, es el que funciona cuando la tensión entre los extremos de un interruptor o contactor abierto sobrepasa de un valor dado en una dirección dada.
- 92. **Relé direccional de tensión y potencia**, es un relé que permite y ocasiona la conexión de dos circuitos cuando la diferencia de tensión entre ellos excede de un valor dado en una dirección determinada y da lugar a que estos dos circuitos sean desconectados uno del otro cuando la potencia circulante entre ellos excede de un valor dado en la dirección opuesta.
- 93. **Contador de cambio de campo**, es el que funciona para cambiar el valor de la excitación de la máquina.
- 94. **Relé de disparo o disparo libre**, es el que funciona para disparar o permitir disparar un interruptor, contactor o equipo, o evitar un reenganche inmediato de un interruptor en el caso que abra por sobrecarga, aunque el circuito inicial de mando de cierre sea mantenido.
- 95. **Reservado para aplicaciones especiales.**
- 96. **Reservado para aplicaciones especiales.**
- 97. **Reservado para aplicaciones especiales.**
- 98. **Reservado para aplicaciones especiales.**
- 99. **Reservado para aplicaciones especiales.**